

Matias Nastolin

Kauppakeskuksen ilmastoinnin energiatehokkuus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

30.5.2016

Tekijä Otsikko	Matias Nastolin Kauppakeskuksen ilmastoinnin energiatehokkuus
Sivumäärä Aika	49 sivua + 10 liitettä 30.5.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tuotantopainotteinen
Ohjaajat	kiinteistöpäällikkö Jani Kiistala lehtori Seppo Innanen
<p>Tämän työn tavoitteena on tuoda esille ilmastoinnin energiatehokkuuden parantamiseen liittyviä keinoja suuren kauppakiinteistön ympäristössä. Työn on tarkoitus toimia mallina kauppakeskus Itiksen keskusilmastointikoneiden energiatehokkaan ohjauksen vaatimille toimenpiteille ja lisäksi apuna tuleviin saneerauksiin.</p> <p>Tarkasteltavien keskusilmastointikoneiden määrä työtä tehdessä oli 78 kappaletta. Puhaltimien yhteenlaskettu ominaissähköteho, lämmöntalteenoton hyötysuhde, tuloilman lämmitämiseen tarvittava lämpöenergia ja ilmastoinnin tarpeenmukainen hiilidioksidiohjaus ovat tutkimuksen keskiössä. Lisäksi työssä on luotu koneiden energiatehokkuusprofiilien arvostana-asteikko helpottamaan keskusilmastointikoneiden keskinäistä vertailua jatkossa.</p> <p>Kauppakeskus Itiksen ilmanvaihto on toteutettu keskitettynä, sekä muuttuva- että vakioilmavirtaisena. Työssä tuodaan esille, kuinka ilmastoinnin tarpeenmukaisen ohjauksen optimoinnilla voidaan saada aikaiseksi huomattavaa energiansäästöä olosuhteet huomioiden. Vuosikello-ajattelulla ilmastoinnin ohjaus pysyy oikeanlaisena vuodenajasta riippumatta.</p> <p>Esimerkkikoneeksi nostettiin C301, jonka säästöpotentiaali vuositasolla on jopa kymmeniä tuhansia euroja kaikki energiamuodot yhteenlaskettuna. Insinööriyö kokonaisuutena tuokin esille nykypäivän ekodirektiivien viitoittamaa ajattelua.</p> <p>Itiksen kaltaisia kauppakiinteistöjä on Suomessa lukuisia. Ilmastoinnin energiatalouden ja olosuhteiden parantaminen on kuitenkin kaikkien etu, olkoon kiinteistön tyyppinä mikä tahansa.</p>	
Avainsanat	ilmastointi, ilmanvaihto, energiatehokkuus, kauppakeskus

Author Title	Matias Nastolin Energy efficiency of air conditioning systems in shopping centres
Number of Pages Date	49 pages + 10 appendices 30 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructors	Jani Kiistala, Property Manager Seppo Innanen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to introduce methods to improve the energy efficiency of the air conditioning in a large shopping centre.</p> <p>In total, 78 central air handling units were examined. Especially the specific fan power, efficiency of heat recovery ventilator, energy needed for heating supply air, and carbon dioxide based demand-controlled air conditioning were looked into. On the basis of these, a grading system for the energy profiles of central air handling units was created. Energy calculations were done for a case unit, central unit C301. It turned out that it would be possible to save more than ten thousand euros by operating the case unit in a more efficient way.</p> <p>The final year project showed that by optimizing the demand control of the centralized ventilation, it is possible to gain significant energy savings and still maintain good indoor environment. The potential energy savings would increase substantially if the whole property was examined. This thesis can be used as a model for improving the operations of central air handling units towards a more energy efficient manner.</p>	
Keywords	air conditioning systems, ventilation, energy efficiency, shopping centre

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kauppakeskuksen ilmastointijärjestelmät	2
2.1	Hyvän ilmanvaihdon ominaisuuksia	2
2.2	Vuotoilmanvaihto	3
2.3	Vakioilmavirtajärjestelmä	4
2.4	Muuttuvan ilmavirran järjestelmä	5
2.5	Hiilidioksidi ja sisäilmasto	6
2.6	Määräyksiä ja ohjeita	9
3	Ilmastointikoneen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä	12
3.1	Rakennuksen energiankulutuksen muodostuminen	12
3.2	Ilmastointikone ja kanavisto	13
3.3	Puhaltimet	14
3.4	Ominais sähkötehon määrittäminen	16
3.5	Lämmöntalteenotto	19
3.5.1	Lämmönsiirtimet	19
3.5.2	Lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhde	23
3.5.3	Tuloilman lämmitysenergian nettotarve LTO:n jälkeen	24
3.6	Keskitetty kiinteistö- eli rakennusautomaatiojärjestelmä	25
4	Projekti: Ilmastoinnin energiatehokkuus, Kauppakeskus Itis	27
4.1	Kohdetiedot	27
4.2	Projektin tavoitteet	28
4.3	Kauppakeskuksen ilmastoinnin pääkoneiden dokumentointi	29
4.3.1	Lähtötilanne ja tavoitteet	29
4.3.2	Ilmastointikoneiden koontitaulukko	30
4.3.3	SFP-luvut	32
4.3.4	LTO:n hyötysuhde	33
4.3.5	Energiatehokkuusprofiilit	34
4.4	Esimerkkikoneen C301 energiatehokkuuslaskelmat	36
4.4.1	Lähtötiedot	36

4.4.2	Puhaltimien sähkönkulutus	37
4.4.3	Tuloilman lämmitysenergiantarve	38
4.4.4	Tarpeenmukainen hiilidioksidiohjaus	40
4.4.5	Pohdintaa	43
4.5	Ilmastoinnin vuosikello ja projektin johtopäätöksiä	44
5	Yhteenveto	46
	Lähteet	48
	Liitteet	
	Liite 1. Rakennuksen ilmanvuotoluvut ja alttius tuulelle	
	Liite 2. Kuvankaappauksia C301:n grafiikalta	
	Liite 3. Ilmastointikoneen C301 konekortti	
	Liite 4. Ilmastointikoneen C301 säätökaavio	

Lyhenteet

BREAAM	Building Establishment's Environmental Assessment Method, ympäristöluokitus
CAC	Swegon Clean Air Control
CAV	Constant Air Volume System eli vakioilmavirtajärjestelmä
IMS	Ilmamääräsäädin
IV	Ilmanvaihto
LTO	Lämmöntalteenotto
SFP	Ominaissähköteho eli Specific Fan Power
TK/PK	Ilmanvaihtoa palvelevat tulo- ja poistopuhallin
UPS	Uninterruptible Power Supply eli keskeyttämätön virransyöttö
VAK	Valvonta-alakeskus
VAV	Variable Air Volume System eli muuttuvan ilmavirran järjestelmä

1 Johdanto

Energiatehokkuuden merkitys rakentamisessa on kasvussa. Talotekniikan järjestelmien kehittäminen, valvonta- ja oikeanlainen käyttö antavat mahdollisuudet energian säästämiseksi. Euroopan unionin ilmasto- ja energiapaketin yksi tavoitteista on parantaa energiatehokkuutta 20 prosenttia perusuran mukaisesta kehityksestä vuoteen 2020 mennessä [1]. Yksi tärkeimmistä keinoista tavoitteeseen pääsemiseksi on nimenomaan rakennusten energiatehokkuuden kehittäminen. Suomessa rakennusten osuus valtion energian kokonaiskulutuksesta on arviolta 40 % [2]. Ympäristöministeriö laatii ohjeet, määräykset ja lainsäädännön aihepiiriin liittyen.

Kiinteistön energiansäästön kannalta ilmastointijärjestelmien tarkastelu on avain-asemassa, sillä niiden käyttämä osuus rakennusten sekä sähkön että lämmitysenergian kulutuksesta on merkittävä. Ilmastointitekniikka on kehittynyt paljon viime vuosien aikana, ja uudet laitteet ja innovaatiot ovat mahdollistaneet entistä monipuolisempien järjestelmien kehittelyn ja rakentamisen. Uudet laitteistot asettavat urakointiin ja ylläpitoon haasteita ja vaativat suunnittelijalta tietämystä. Myös vanhojen laitteiden toimintojen parantaminen tuo haasteita alan toimijoille energiamääräysten tiukentuessa vuosi vuodelta.

Tämän insinööriyön tarkoituksena on perehtyä kauppakeskuksen ilmanvaihto- ja ilmastointiratkaisuihin. Tavoitteena on luoda malli energiansäästön mahdollistamiseksi ilmastoinnin osalta. Työtä varten on tehty kirjallisuustutkimusta. Myös pidemmän aikavälin olosuhdeseurantaa on hyödynnetty pohdinnassa.

Kauppakeskukset ovat kiinteistönä suuria ja monipuolisia: liiketilat, ravintolat, kaupat, hallit, kuntosalit ja toimistot – erilaisten käyttötarkoitusten tilojen määrä on kirjava. Työssä käsitellään ilmastoinnin tarpeenmukaista ohjausta hiilidioksidi eli CO₂-pitoisuuden mittauksen avulla. Lisäksi määritellään puhaltimien ominaissähkötehot, ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhde ja tuloilman lämmittämisen vaatimaa energiaa esimerkiksi merkkikoneen osalta. Ilmiöitä ilmastoinnin ympärillä tuodaan esille.

Työn tilaaja on Wereldhave Finland Oy. Kyseessä on hollantilainen kiinteistösijoitusyhtiö, jonka omistuksessa Suomessa on Helsingissä sijaitseva kauppakeskus Itis. Työ on tehty yhteistyössä Are Oy:n kanssa.

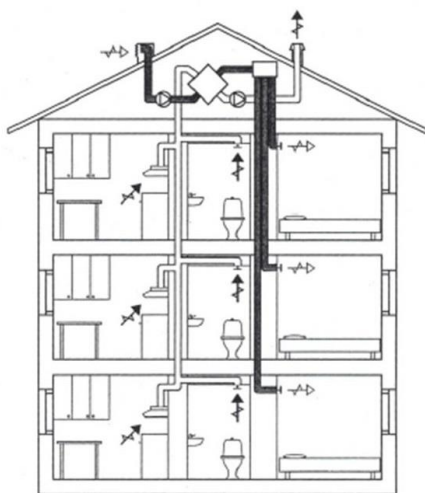
2 Kauppakeskuksen ilmastointijärjestelmät

2.1 Hyvän ilmanvaihdon ominaisuuksia

Suomen ympäristöministeriön laatimassa rakentamismääräyskokoelman osassa D2 määrätään ilmanvaihdon toteutukset sellaisiksi, että oleskeluvyöhykkeille pystytään takaamaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto [3]. Lämpöolot, ilmanlaatu ja äänihaitat tulee pitää hallinnassa. Ilmastointiin ja sen energiataloudelliseen suunnitteluun annetaan tarkempia ohjeita osassa D3.

Kosteuden kulkeutuminen rakenteisiin estetään alipaineistamalla rakennuksen huoneilma ulkoilmaan nähden. Paine-eron huone- ja ulkoilman välillä tulee kuitenkin olla alle 20 pascalia, jottei muita haittoja rakennuksen toiminnoissa pääse syntymään. Likaisten tilojen kuten käytävien ja hygieniatilojen ilma ei saa virrata puhtaita tiloja kohti. Myös tuloilman päätelaitteet tulee asentaa tavalla, että tiloihin tuotava ilma ei pääse niistä kulkeutumaan suoraan poistokanavistoon. Tarkoituksena on aikaansaada vedoton, äänetön ja hajuton ilmanvaihto. Kanaviston tulee olla helposti säädettävissä ja huollettavissa. [4, s. 165–166]

Tässä työssä keskitytään pääsääntöisesti keskitettyyn koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon, jonka periaate on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Asuinkerrostalon keskitetty tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä [5].

2.2 Vuotoilmanvaihto

Vaikka koneellinen ilmanvaihto olisi pois päältä, vaihtuu rakennuksessa ilmaa ilmapuottojen vaikutuksesta. Rakennuksen ulkovaipan tiiveys ja sääolot ovat vaikuttavia tekijöitä vuotoilmanvaihdon syntymiselle. Tuuli ja sisä- ja ulkolämpötilan välinen ero määräävät vuotoilmavirran suuruuden, mutta sen todellista määrää on vaikea arvioida. Tarkempia asiaa selvittäviä mittauksia on pääasiassa tehty pientaloissa, joten suurempien kiinteistöjen vuotoilmamäärien laskeminen on vaikeampaa. [6, s 103.]

Kesällä vuotoilmanvaihto on talveen verrattuna pienempää. Kesän lämpimällä säällä rakennuksen tuuletuksen tärkeys korostuu. Esimerkiksi yöllä ja aamulla yötuuletuksen hyödyntäminen tilojen viilentämiseen voi olla ratkaisu sisäilman viihtyisäksi saattamiseen ennen tilojen varsinaisen käytön alkamista.

Vastaavasti talvella kylmäsillat ja vetoa aiheuttavien vuotoilmavirtojen syntyminen aiheuttavat haasteita lämmityksessä. Kovalla pakkasella ja tuulella etenkin suojattomassa paikassa sijaitsevat rakennukset joutuvat koetukselle ja lämmityskulut nousevat merkittävästi. Koneellinen ilmanvaihdon käyntiaika tulisi tällöinkin olla riittävä rakennuksen painetilan pysymiseen tasaisena ja lämmön pitämiseen rakennuksen sisällä. Rakennuksen tiiveys on hyvin tärkeä asia vuotojen pitämiseksi kurissa. Rakenteiden tuuleuksesta täytyy kuitenkin huolehtia tarkasti, jolloin kosteusvaurioilta voidaan välttyä. Huolellinen rakentaminen on tie energiatehokkuuteen ja kestävyYTEEN.

Kaavalla 1 [6, s. 103] voidaan määrittellä rakennuksen vuotoilmavirran teoreettista määrää. Liitteessä 1 on esitetty tarvittavia ohjelukuja vuotoilmanvaihtuvuudelle n_{50} ja rakennuksen ympäristön suojakertoimelle e .

$$q_{vuoto} = V * n_{50} * e \quad (1)$$

q_{vuoto} on vuotoilmavirta, m³/h

V on rakennuksen tilavuus, m³

n_{50} on vuotoilmanvaihtuvuus paine-erolla 50 Pa, l/h

e on rakennuksen ympäristön suojauskerroin

Mielenkiintoista on suurten ilmamassojen liikkuminen painovoimaisesti läpi halli- ja käytävätiloissa. Etenkin kauppakeskus- ja liikekiinteistöissä suunnitteluvaiheessa sisätiloiksi

mielletty tilat saattavat sijaita yhteydessä halliin, josta siirtyy liian kylmää tai lämmintä ilmaa liikkeiden sisään hallitsemattomasti. Ilmanvaihdon tasapaino ja lämmitykseen tarkoitetut kiertoilmakoneet ja oviverhopuhaltimet auttavat tilanteeseen.

2.3 Vakioilmavirtajärjestelmä

Vakioilmajärjestelmän (CAV) keskusyksikössä on suodatus, lämmön talteenotto sekä lämmitys ja jäähdytystoiminnot. Huonetilojen lämmitys hoidetaan yleensä radiaattoreilla, jotka pyritään asentamaan rakennuksessa huoneiden ulkoseinille. Käytävillä ja tuulikaappeissa lämmitystä voidaan toteuttaa myös kiertoilmalämmittimien, eli ns. tuulikaappikoneiden avulla. Jäähdytys puolestaan tapahtuu joko jäähdytetyllä tuloilmalla tai erillisjäähdytyksellä, joista myös kummatkin voivat olla käytössä yhtäaikaaisesti tarpeen mukaan. Vyöhykkeen tulo- ja poistoilmalaitteet sijoitetaan huoneiden seiniin tai alakattoihin. Muuntojoustavuus järjestelmässä toteutetaan valitsemalla päätelaitteet halutuiksi. Tällöin toiminta-alueesta saadaan oikeanlainen.

Ilmavirrat mitoitetaan useimmiten kesäajan jäähdytystarpeen mukaan. Vakioilmavirtajärjestelmä on rakennushinnaltaan edullinen, mutta sen palvelualueena on syytä olla samankaltaisia huoneita ja tiloja. Mikäli vakioilmajärjestelmän palvelualueella on lämpökuormaltaan selvästi toisistaan vaihtelevia alueita, ei olosuhteita ja energiatehokkuutta välttämättä saada halutulle tasolle. Ratkaisun tilanteeseen tarjoaa erillisjäähdytys, kuten vesikiertoinen puhallinkonvektori- tai jäähdytyspalkkijärjestelmä.

Myös ilmanvaihtokoneen ajaminen suurella teholla voi viilentää palvelualueen huonelämpötilat haluttua alhaisemmiksi. Ratkaisuna ongelmiin voi olla tuloilmakanavaan asennettava jälkilämmityspatteri. Toimiva rakennusautomaatio ja riittävä määrä ohjaukseen vaikuttavia lämpötila-antureita auttavat myös pitämään kokonaisuuden hallinnassa. Poistokanavaan asennettu lämpötila-anturi ja huonekohtaiset anturit määräävät keskusilmastointikoneen sisäänpuhallusilman lämpötila-asetuksen ja puhallustehon. Puolestaan liian korkeiden huonelämpötilojen alentamiseen voidaan hyödyntää yötuoletusta. [7, s. 131–136.]

2.4 Muuttuvan ilmavirran järjestelmä

Mikäli palvelualueelle halutaan ilmastointiin enemmän joustavuutta, on ratkaisuna muuttuvan ilmavirran järjestelmä (VAV). Kyseessä on vakioilmajärjestelmää toteutukseltaan kalliimpi mutta toiminnaltaan monipuolisempi vaihtoehto. Huoneiden ja vyöhykkeiden ilmavirtoja säädetään vyöhykepellein ja ilmamääräsäätimin (IMS, kuva 2) ja mahdollisesti aktiivisin päätelaittein. Järjestelmän keskusyksikössä on suodatus-, lämmön talteenotto-, lämmitys- ja jäähdytystoiminnot. Tarkoituksena on ohjata kanavistoon vakiolämpöistä, mutta huoneilmaa viileämpää ilmaa vuodenajasta riippumatta. Ilmavirran määrän muuttamisella hallitaan vyöhykkeillä vallitsevaa lämpötilaa – eli ilmavirran kasvaessa jäähdytysteho kasvaa ja päinvastoin. Tarvittaessa käytetään jälkilämmityspattereita tulokanavassa kompensoimaan lämpötilaa.

Järjestelmässä päätelaitteet asennetaan alakattoon ja, kuten vakioilmajärjestelmässäkin, huoneiden lämmitys toteutetaan lämmityspattereihin. Keskuslaitteiston lisäksi järjestelmän toimivuus edellyttää siirtolaitteiston ja huonelaitteiston toimivuutta. Huone-anturit ja VAK:ille asetellut arvot määräävät siirtolaitteiston (ilmamääräsäätimet ja päätelaitteet) ja keskuslaitteiston (ilmastointikone) toiminnan. Kuvassa 2 näkyy ilmamäärän säätölaite.



Kuva 2. Ilmamäärän säätölaite (IMS) [8].

Muuttuvan ilmavirran järjestelmälle soveltuvalla palvelualueella lämpökuormien ja ilmavirtojen tarpeen vaihtelu on suurta. Tilat kuten kokous-, kuntosali- ja liiketilat ovat tyypillisiä käyttökohteita. Ohjaustapoja ilmavirran säädölle ovat aikaohjelmat ja tiloihin tai poistokanavaan sijoitettavat hiilidioksidi- ja lämpötila-anturit. Läsäolo- ja kosteusantureita voidaan myös käyttää ohjauksessa. Keskuskoneen puhallustehon säätöalue on usein 30–100 %:n välillä – kauppakeskusolosuhteissa 50–100%. Tavoitteena on kanaviston staattisen paineen pitäminen mahdollisimman alhaisena sähköenergian säästämiseksi.

Ilmastoinnin tulo- ja poistokoneiden tehoa ohjataan taajuusmuuttajien tai EC-moottoreiden avulla, jotka säätävät kanavan paineantureiden mittauksen ja ohjelmallisten asetusarvojen perusteella. [7, s. 131–136.]

Kauppakeskusympäristöön muuttuvailmavirtajärjestelmä on joustava ja energiataloudellinen valinta. Palvelualueet voivat olla hyvin suuria, ja erilaisia tiloja yhden keskuskoneen alueella saattaa olla lukuisia.

2.5 Hiilidioksidi ja sisäilmasto

Sisäilman epäpuhtaudet vaihtelevat ajan ja tiloissa tapahtuvan toiminnan mukaisesti. Rakennusmääräyksissä ja ohjeissa määrätään ilman epäpuhtauksille ylärajat, joita tulee noudattaa ja huomioida suunniteltaessa kiinteistön ilmanvaihtoa. Haasteita tulevaisuudessa puhtaan sisäilman aikaansaamiselle tuo ulkoilman ilmanlaadun heikkeneminen saasteiden takia.

Hiilidioksidi eli CO_2 on helposti mitattavissa siihen tarkoitetuilla antureilla ja se on ihanteellinen tilojen käyttöasteen tarkkailuun. Hiilidioksidin pääasiallinen lähde sisätiloissa on ihmisen uloshengitysilma. Hiilidioksidin korkea pitoisuus huoneilmassa kuvaa siis hyvin riittämätöntä ilmanvaihtoa ja epäpuhtauksien määrää. D2 määrittelee ylärajaksi tavanomaisissa sääoloissa ja tilan käyttöaikana CO_2 pitoisuudelle 1200 ppm (partikkelia miljoonassa) [3]. Korkea hiilidioksidipitoisuus aiheuttaa tunkkaisuuden tunnetta, väsymystä, päänsärkyä ja suorituskyvyn alenemista.

LVI-suunnittelussa usein oletetaan että huoneen virtaukset ja epäpuhtaudet sekoittuvat keskenään. Tästä syystä hiilidioksidipitoisuuden määrittäminen onnistuu parhaiten mitaamalla hiilidioksidin keskimääräistä pitoisuutta huoneilmassa ja poistoilmakanavassa. [7.]

Normaalikokoisen aikuisen ihmisen tuottama hiilidioksidivirta on noin $6,7 \text{ cm}^3/\text{s}$ kevyen työn aktiviteetilla. Ulkoilman pitoisuus on noin 420 ppm eli $420 \text{ cm}^3/\text{m}^3$. Kaavalla 2 saadaan määriteltä tilaan tarvittava tuloilmavirta tasapainotilanteen aikaansaamiseksi. [7, s. 101.]

$$q_{tulo} = \frac{G_{CO_2}}{C_{poisto} - C_{tulo}} \quad (2)$$

q_{tulo} on tuloilmavirta, m³/s

G_{CO_2} on hiilidioksidin tuotto, cm³/s

C_{poisto} on hiilidioksidin pitoisuus poistoilmassa, cm³/m³

C_{tulo} on hiilidioksidin pitoisuus tuloilmassa, cm³/m³

Tasapainotilanteessa ilmavirran tarve on riippumaton huonetilavuudesta. Sama ulkoilmavirta tarvitaan sekä korkeaan että matalaan tilaan mikäli pinta-ala on sama. Kaavalla 3 määritellään epäpuhtauksien kerrostumista kuvaava indeksi ε_C ilmanvaihdon tehokkuudelle. [7, s. 102.]

$$\varepsilon_C = \frac{C_{poisto} - C_{tulo}}{C_{olesk} - C_{tulo}} \quad (3)$$

ε_C on epäpuhtauksien poistotehokkuuden indeksi

C_{poisto} on hiilidioksidin pitoisuus poistoilmassa, cm³/m³

C_{tulo} on hiilidioksidin pitoisuus tuloilmassa, cm³/m³

C_{olesk} on hiilidioksidin pitoisuus oleskeluvyöhykkeellä, cm³/m³

Epäpuhtauksien kerrostuminen tilassa suurentaa poistoilman ja tuloilman hiilidioksidipitoisuuden eroa ja pienentää täten ilmavirran tarvetta tilassa [7]. Esimerkiksi poistokanavan pitoisuus saattaa olla 900 ppm, oleskeluvyöhykkeen 600 ppm ja tuloilman 400 ppm. Oletuksena on, että tässäkin tilanteessa ilmanjako on täysin sekoittava. Tällöin kaavasta 3 saatua epäpuhtauksien poistotehokkuuden indeksistä ε_C hyödyntäen muutetaan kaava 2 muotoon:

$$q_{tulo} = \frac{G_{CO_2}}{\varepsilon_C(C_{olesk} - C_{tulo})} \quad (4)$$

q_{tulo} on tuloilmavirta, m³/s

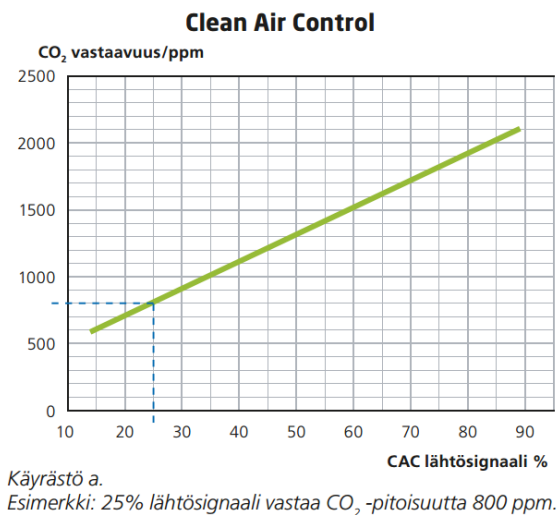
ε_C on epäpuhtauksien poistotehokkuuden indeksi

C_{tulo} on hiilidioksidin pitoisuus tuloilmassa, cm³/m³

C_{olesk} on hiilidioksidin pitoisuus oleskeluvyöhykkeellä, cm³/m³

Näin ollen kaavalla 4 saadaan todenmukaisempi tulos tilan tarvitsemalle tuloilmavirralle, kun sitä suunnitellaan tietty käyttöaste ja ihmismäärä mielessä. Esimerkiksi kaupoissa, konserttisaleissa, kokoustiloissa ja kuntosaleilla epäpuhtauksien poistotehokkuuden indeksi ε_C on hyödyksi suunnittelussa.

Hiilidioksidipitoisuutta mittaavien CO₂-antureiden lisäksi voidaan käyttää myös VOC-antureita, jotka ilmoittavat ilman saaste- ja epäpuhtauspitoisuuden yksikössä % VOC. Ne asennetaan ilmvirtapeltiin tai ilmapöytäantureeseen ja ovat osa Swegon Oy:n Clean Air Control (CAC) -järjestelmää. Anturin mittauksen suhde hiilidioksidipitoisuuteen näkyy kuvan 3 käyrästä. [22.]



Kuva 3. Swegon Clean Air Control (CAC) -lähtösignaali CO₂ pitoisuuteen nähden [22].

2.6 Määräyksiä ja ohjeita

Ilmanvaihdolle, ilmastoinnille, energiatehokkuudelle ja olosuhteille on laadittu lukuisia määräyksiä ja ohjeistuksia. Suomen rakentamismääräyskokoelman osat D2, D3 ja D5 käsittelevät näitä asioita ja lisäksi lukuisat RT- ja LVI-kortit.

Taulukossa 1 on lueteltu rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisia ohjearvoja energialaskentaan:

Taulukko 1. D3:n mukaisia energialaskennassa käytettäviä arvoja [9]. Lihavoidut käyttötarkoitukset liittyvät tyypillisiin kauppakeskusolosuhteisiin.

Käyttötarkoitussuokka	Ulkoilmavirta	Lämmitysraja	Jäähdytysraja	Valaistus	Laitteet	Ihmiset	Henkilötiheys
	dm ³ /(s m ²)	°C	°C	W/m ²	W/m ²	W/m ²	hlö/m ²
Erillinen pientalo	0,4	21	27	8	3	2	1/43
Asuinkerrostalo	0,5	21	27	11	4	3	1/28
Toimistorakennus	2	21	25	12	12	5	1/17
Liikerakennus	2	18	25	19	1	2	1/43
Majoitusliikerakennus	2	21	25	14	4	4	1/21
Opetusrakennus	3	21	25	18	8	14	1/5
Liikuntahalli	2	18	25	12	0	5	1/17
Sairaala	4	22	25	9	9	8	1/11

- Ulkoilmavirta (dm³/s, m²) on vähimmäisarvo tilaan tuotavalle ilmavirralla pinta-alaa kohden. Tarpeenmukaisesti ohjatuissa ilmastointijärjestelmissä tämä arvo tarkoittaa mitoitukseen käytettävää alueen suurinta ilmamäärää. Käyttöasteen ollessa pienempi voi ilmamäärää kuitenkin vähentää hallitusti, sisäilmaolosuhteet huomioiden. Taulukossa 1 ilmoitettu ilmavirta pätee myös kohteissa joissa on käytössä vain koneellinen poistoilmanvaihto, sillä tällöin ulkoilmavirta tuodaan tiloihin korvausilmana esimerkiksi ikkunaventtiileiden ja säleikköjen kautta.
- Lämmitysraja (°C) tarkoittaa tilan vähimmäislämpötilaa oleskeluvyöhykkeellä, jonka alittuessa tarvitaan lämmitystä. Jäähdytysraja puolestaan kuvaa korkeinta sallittua lämpötilaa. D3 ohjeistaa, että kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää jäähdytysrajan arvoa enemmän kuin 150 astetuntia kesä- ja elokuun välisenä aikana, Etelä-Suomen säävyöhykkeellä [D3].
- Valaistuksen ja laitteiden lämpökuormat neliötä kohden (W/m²) tulee aina huomioida ilmastointia suunniteltaessa. Näissä voi olla suurtakin vaihtelua kohdekohtaisesti. Esimerkiksi eri liiketiloilla saattaa olla käytössä erilaisia valaisimia. Valaisimien ja ilmastointia palvelevien päätelaitteiden sijoittaminen on myös hyvä toteuttaa järkevästi tasaisen lopputuloksen varmistamiseksi.
- Ihmisten lämpökuormat (W/m²) on hyvä huomioida sillä ihminen tuottaa myös lämpöä ympäristöön. Tässä ohjearvossa on suurtakin vaihtelua käyttötarkoitussuokkien välillä.
- Henkilötiheys (hlö/m²) on tarpeenmukaista ilmastointia ajatellen hyödyllinen tieto. Tiloihin saatetaan johtaa suuren pinta-alan takia suuria määriä ilmaa yhtäjaksoisesti, vaikka käyttöaste olisi alhainen. Esimerkiksi liikerakennuksessa keskusilmastointikoneen käyntitehoa voidaan pudottaa hiljaisempina tunteina alemmaksi energiansäästön aikaansaamiseksi, silti pitäen sisäilmasto-olosuhteet haluttuina.

Lisäksi D3 antaa ilmastoinnille on suuntaa antavia ohjeita koneiden käyntiajoille. Pitää kuitenkin muistaa, että tilojen käyttöajoilla on todellisuudessa suurta vaihtelua tilojen kesken ja ne ovat usein käyttäjästä, eli vuokralaisesta tai asukkaasta itsestään kiinni. Tästä syystä tähän insinööritoimintaan ei ole lueteltu D3:n ilmoittamia ohjekäyntiaikoja. Erityyppisten liikkeiden ja kauppojen käyttöprofileja voisi selvittää alalla jatkossa enemmän, sillä tiedot tilojen käyttöasteista eri kellonaikoina tuovat hyötyä suunnitteluun.

Suomen sisäilmastoluokituksen uusi versio on vuodelta 2008, ja se korvaa vuonna 2001 ilmestyneen ohjeen. Ohjeistus on tarkoitettu rakennus- ja taloteknisen suunnittelun, sekä urakoinnin ja rakennustarviketeollisuuden avuksi. Päällimmäinen tavoite sisäilmastoluokituksella on edesauttaa terveellisempien ja viihtyisämpiä olosuhteiden aikaansaamista rakennuksiin. Se soveltuu uudisrakentamisen lisäksi korjausrakentamiseenkin. Ohjeessa sisäilmasto-olosuhteet on jaettu kolmeen luokkaan: S1, S2 ja S3. Arvoiltaan näistä tiukin on S1 ja löysin S3. Taulukossa 2 on listattu tavoitearvoja sisäilman laadulle [10]. Hiilidioksidipitoisuutta tarkastellessa tulee pitää mielessä, että rakentamismääräyskokoelmassa D2 on asetettu sen ylärajaksi rakennuksen käyttöaikana enintään 1200 ppm ja puolestaan radonin pitoisuus vuosikeskiarvolla saa olla enintään 200 Bq/m³ [3].

Taulukko 2. Ilmanlaadun tavoitearvoja, Sisäilmaluokitus 2008. [10.]

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuus (ppm)	<750	<900	<1200
Radonpitoisuus (Bq/m ³)	<100	<100	<200
Olosuhteiden pysyvyys (käyttöaik.)			
Toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	
Asunnot	90 %	80 %	

Sisäilmastoluokitus 2008 määrittelee sisäilmaluokat S1–S3 seuraavalla tavalla [10]:

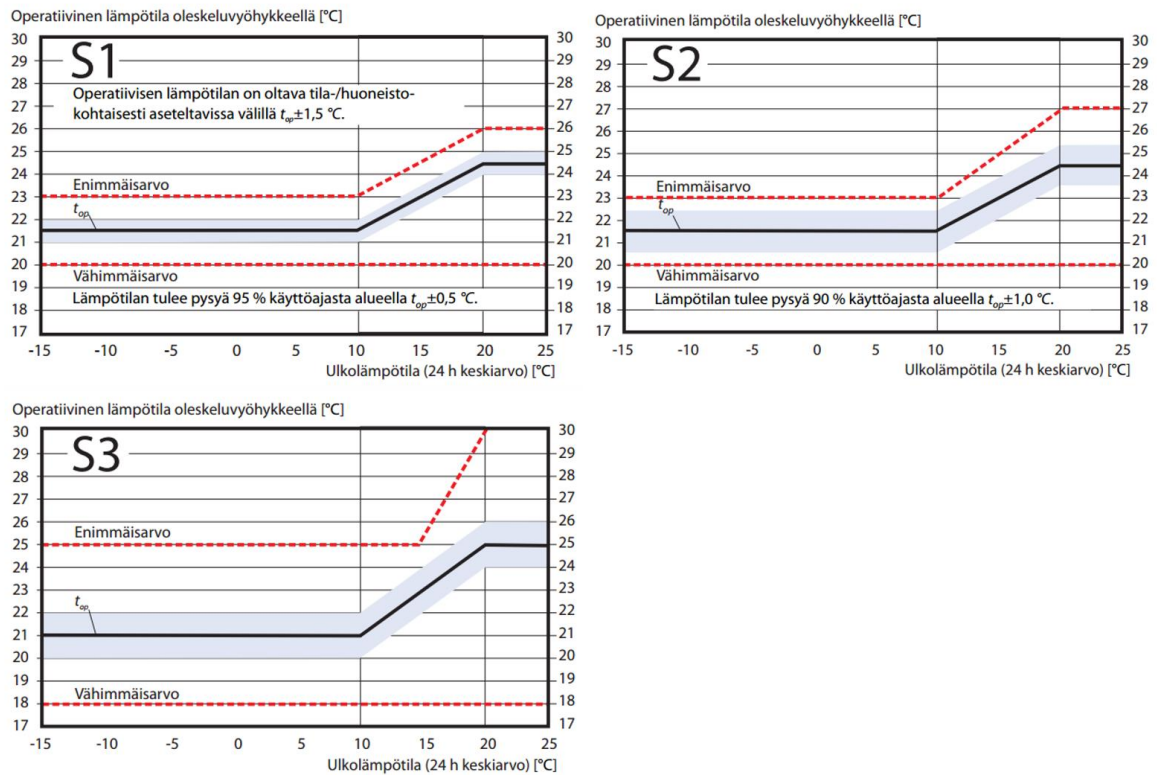
S1: yksilöllinen sisäilmasto. Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet ja hyviä valaistusolosuhteita tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus.

S2: Hyvä sisäilmasto. Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei

yleensä esiinny, mutta ylälämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet.

S3: Tyydyttävä sisäilmasto. Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset.

Kuvassa 4 avataan luokituksen ohjeistuksia oleskeluvyöhykkeillä sallituille operatiivisille lämpötiloille. Tummennettu alue kuvaa suositeltua tasoa ja sen virhemarginaalia. Sisäilmastoluokassa S1 sallitaan siis kesällä 25 asteen ulkolämpötilalla huonelämpötilaksi 24–25 °C. Tällä pyritään vähentämään lämpötiloista syntyviä väärinkäsityksiä. Esimerkiksi huoltohenkilökunta tai vuokralainen voi pitää erheellisesti kiinni ajatuksesta, että 21 °C tulee aikaansaada oleskelualueelle kovillakin kesähelteillä.



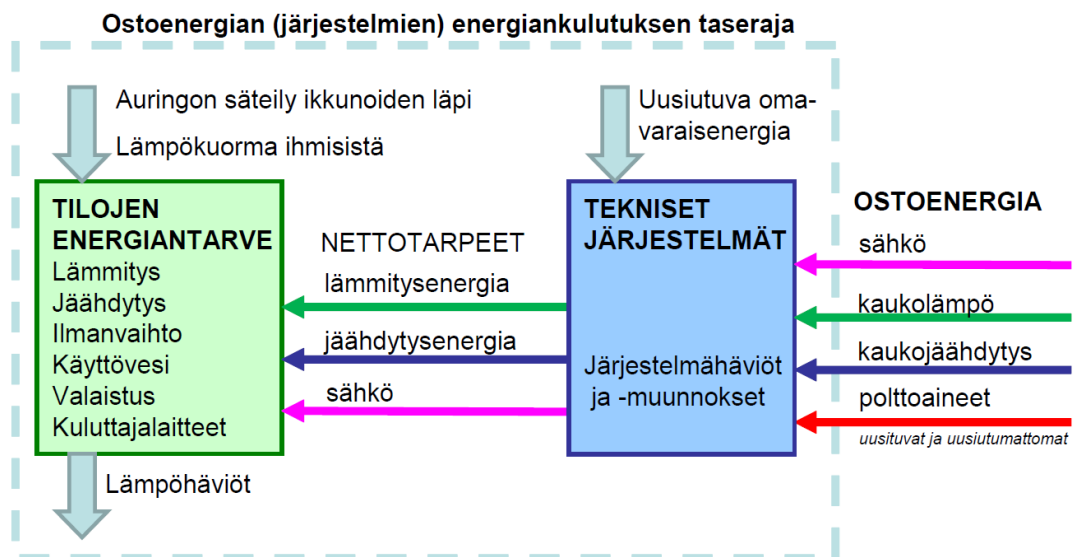
Kuva 4. Sisäilmastoluokitus 2008:n ohjeistus operatiivisen lämpötilan tavoitearvoille [10].

3 Ilmastointikoneen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä

3.1 Rakennuksen energiankulutuksen muodostuminen

Kiinteistön energiankulutus muodostuu sen taloteknisten järjestelmien ja kuluttajalaitteiden ja valaistuksen vaatimasta sähkö- ja lämpöenergiasta. Tämän insinööriyön pääpainona on ilmastoinnin ja ilmanvaihdon tutkiminen. Ilmanvaihto muodostaa kauppakiinteistön energian kokonaiskulutuksesta noin 30–50 %.

Kuvassa 5 on havainnollistettu rakennuksen järjestelmien energiankulutuksen kokonaisuus. Rakennuksen ostoenergiat on lueteltu: sähkö, kaukolämpö, kaukojäähdytys ja polttoaineet. Tulee muistaa, että tilojen energiantarpeen listassa olevat asiat voivat vaikuttaa toinen toisiinsa, joka tekee rakennuksen energiatehokkuuden tutkimisesta haasteellista. Yhden energiantarvelajin vähentyminen voi siis aiheuttaa ongelmien muodostumista ja kulutuksen lisääntymistä toiseen energiantarvelajiin. Esimerkiksi valaisimien vaihto halogeenista led-valaisimiin vähentää sähköenergian kulutusta, mutta voi samalla nostaa rakennuksen lämmitysenergian tarvetta.

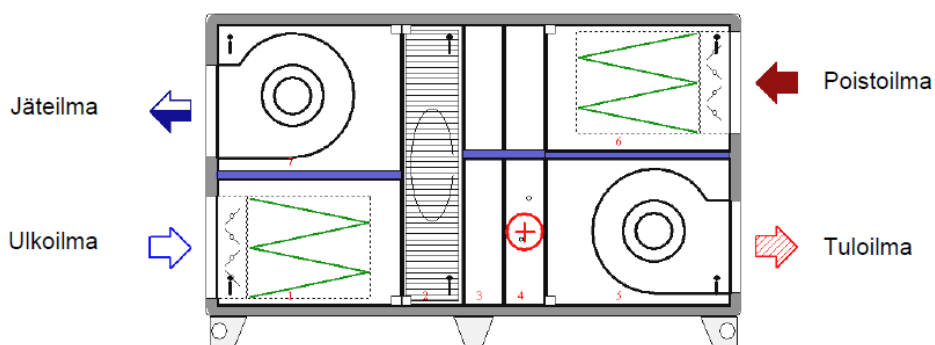


Kuva 5. Ostoenergian energiankulutuksen taseraja [11].

3.2 Ilmastointikone ja kanavisto

Rakennuksen ilmastointia palvelevat ilmastointikoneet pyritään sijoittamaan palveltavien tilojen yläpuolelle konehuoneeseen, tavoitteena mahdollisimman helpot ja symmetriset kanavavedot. Koneiden sijoittaminen tilojen alapuolelle tai samaan tasoon on paloteknisesti ja raitis- ja jäteilman toteutuksen kannalta haastavampi vaihtoehto. Palotekniset syyt määräävät myös sen, että eri käyttötarkoitusten omaavien tilojen ilmastointikoneet tulee sijoittaa omiin konehuoneisiinsa. Esimerkiksi ammattimaisen keittiön poistoilma-kone sijoitetaan eri tilaan toimistohuoneen koneen kanssa. [7, s. 22.]

Kuvassa 6 kuvataan ilmastointikoneen mahdollista kokoonpanoa ja toiminto-osia. Tyyppillisestä koneesta löytyy sulkupellit, suodattimet, lämmöntalteenotto, lämmitys- ja tarvittaessa jäähdytyspatteri, äänenvaimentimet ja tulo- ja poistopuhaltimet. Toimintaa ohjataan toimilaitteiden ja kiinteistöautomaation avulla.



Kuva 6. Ilmastointikone periaatetasolla [13, s. 7]. Myös jäähdytyspatteri voisi olla liitettynä koneen yhteyteen.

Tulo- ja poistoilma johdetaan palvelualueelle ilmastointikanavia pitkin. Tuloilmakanavat lämpöeristetään, jottei kanavistossa kulkeva ilma pääse lämpenemään liiallisesti matkan varrella. Tämä korostuu suuremmissa rakennuksissa, jossa kanavavedot voivat olla hyvinkin pitkiä ja lämpökuormat tiloissa suuria. Tuloilmakanavan lämpöeristys on myös tärkeää, mikäli ilmaa jäähdytetään ilmastointikoneella. Tällöin vältetään kosteuden tiivistyminen kanavan pintaan ja rakenteisiin jäähdytyskautena. Etenkin kesäkuukausina ilman kastepiste ja kosteuskuorma saattavat olla hyvinkin korkealla.

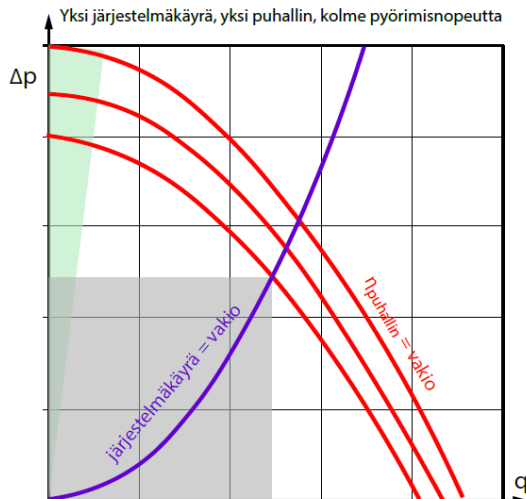
Kanavistossa pyritään käyttämään pyöreitä kierresaumattuja ja tiiviitä kanavia. Haarakanaviin on hyvä asentaa sekä säätöpellit, että äänenvaimentimet helpompaa ilmavirtojen mittausta ja säätöä ajatellen. Puhdistusluukut tulisi löytyä haara- kuten nousukanavistakin. Kanavakoot tulee valita kanavistoja suunniteltaessa mahdollisimman väljiksi. Alhaiset painehäviöt tekevät ilmavirtojen säätämisestä, kanavamelun vaimentamisesta ja energiatehokkaiden puhaltimien valitsemisesta helpompaa. [7, s. 24.]

3.3 Puhaltimet

Tulo- ja poistopuhaltimet ovat keskeisessä asemassa ilmastointikoneen energiankulutuksessa. Sähkönkulutuksen lisäksi puhaltimien käyntiteho vaikuttaa koneen lämmityspattereiden toimintaan ja myös epäsuorasti palveluvyöhykkeellä sijaitsevien lämmitys- ja jäähdytyslaitteiden tuottamaan hyötyyn. Puhaltimien mitoittamiseen käytetään valmistajan taulukoita ja valintaohjelmia. Ilmanvaihdon LVI-suunnitelmista ilmenevä palvelualueen ilmavirran tarve ja kanaviston painehäviö ovat oleellisia lähtötietoja mitoituksessa. Kanavisto ja ilmastointikoneen sisäiset painehäviöt määrittävät puhaltimilta tarvittavan paineenkorotuksen eli staattisen paineen tarpeen. Suurempi staattinen paine tarkoittaa tehokkaamman puhaltimen valitsemista.

Puhallinsaneerauksen yhteydessä saattaa yhtenä projektin tavoitteista olla suuremman ilmamäärän tuonti palvelualueelle. Tässä tilanteessa vanhan kanaviston kasvavat äänihaitat ja painehäviöt puhallinmitoituksessa pitää huomioida suunnitteluvaiheessa. Uusi puhallin voi lisätä muuten ehjän ilmankäsittelykoneen elinkaarta kymmenelläkin vuodella, mutta valinta tulee tehdä harkiten. [12.]

Kuvan 7 käyrästä kuvaa painehäviöiden eli paineenkorotuksen tarpeen (Δp) suhdetta ilmamäärään (q) yhdellä puhaltimella ja kolmella eri käyntinopeudella.



Kuva 7. Järjestelmäkäyrä [12].

Paineenkorotus Δp (Pa) ja ilmavirta q (m^3/s) määräävät puhaltimen toimintapisteen, joka tulee selvittää kaikissa tapauksissa järjestelmiä mitoittaessa. Järjestelmäkäyrän (kuva 7) vaaka-akseli edustaa ilmavirtaa ja pystyakseli paineenkorotusta. Violetti käyrä kuvaa tietyn ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirran ja paineenkorotustarpeen suhdetta. Punaiset käyrät puolestaan edustavat tietyn puhaltimen kolmen eri pyörimisnopeuden suorituskäyriä. Puhaltimen tehontarvetta kuvaa harmaa suorakulmio. [12.]

Kuten järjestelmäkäyrästäkin huomataan, kasvaa ilmanvaihtojärjestelmän paineenkorotustarve ilmavirran toisessa ja puhaltimen tehontarve kolmannessa potenssissa. Fläkt Woodsin oppaassa tilannetta kuvataan seuraavasti:

Esimerkiksi lisättäessä järjestelmän ilmavirtaa 25 % paineenkorotustarve kasvaa n. 60% ja puhaltimen tehontarve kasvaa noin kaksinkertaiseksi. Tämä vaikeuttaa ilmavirran lisäämistä olemassa olevaan järjestelmään. Vaikka uusi puhallin kykenisi saavuttamaan toimintapisteen, se kuluttaa paljon sähköä ja ääniongelmia saattavat lisääntyä. [12.]

Vuoden 2016 alusta voimaan astunut ekosuunnitteludirektiivi 2009/125/EY (N:o 1253/2014) määrää kaikkien uusien ilmanvaihtokoneiden puhaltimien ohjaukseen liittyviä asioita. Kaikkien tulee olla moninopeus- tai taajuusmuuttajaohjattuja. Vanhanaikainen 1-nopeusohjaus ei siis ole enää uusien laitteiden yhteydessä sallittua. Lisäksi puhaltimien hyötysuhteille on asetettu direktiivissä tiukempia määräyksiä. [24.]

3.4 Ominais sähkötehon määrittäminen

Ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähkötehoa kuvataan SFP-luvun (Specific Fan Power) avulla. Ominais sähkötehoa ei määritellä ilmanvaihtojärjestelmän elinkaaritarkastelua varten eikä siinä oteta huomioon muuttuvia ilmavirtoja tai muuttuvia käyttötilanteita. Sen sijaan se on tehokas mittari energiatehokkuuden vertailuun. SFP-luku lasketaan jakamalla kaikkien ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho (kW) järjestelmän mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla (m^3/s). Laskennassa otetaan myös huomioon puhaltimien moottorien sähkötehon lisäksi mahdollisesti taajuusmuuttajien ja muiden ohjauslaitteiden vaatima teho. SFP lasketaan kaavalla 5 [13].

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto}}{q_v} \quad (5)$$

SFP on ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho, $\text{kW}(\text{m}^3/\text{s})$

P_{tulo} on tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho yhteensä, kW

P_{tulo} on poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho yhteensä, kW

q_v on mitoittava ilmavirta tai ulkoilmavirta, m^3/s

Yksittäistä ilmapuhaltinlaitetta laskiessa tuloilmapuhaltimen ja poistoilmapuhaltimen sähkötehot lasketaan yhteen ja mitoittavana ilmavirtana käytetään tässäkin tapauksessa tulo- ja poistopuhaltimien ilmavirroista suurempaa arvoa. Tämä selitetään sillä, että esimerkiksi tuloilmavirran ollessa $4 \text{ m}^3/\text{s}$ ja poistoilmavirran $5 \text{ m}^3/\text{s}$, on ilman vaihtuvuus silti poistoilmavirran määrän verran, sillä tilaan virtaa ilmaa loput $1 \text{ m}^3/\text{s}$ siirtoilmana ja vuotoina.

Yksittäisen puhaltimen SFP-luvun laskenta etenee samankaltaisesti, kaavalla 6.

$$SFP = \frac{P_{puhallin}}{q_v} \quad (6)$$

SFP on puhaltimen ominais sähköteho, $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

P_{tulo} on puhaltimen ottama sähköteho, kW

q_v on puhaltimen ilmavirta, m^3/s

Myös yksittäisen puhaltimen ominaissähkötehoa laskiessa puhaltimen ottama sähköteho sisältää moottorin lisäksi mahdollisten taajuusmuuttajien ja ohjauslaitteiden tarvitseman sähkötehon [13].

Ilmanvaihtojärjestelmä suunnitellaan niin, että SFP-luku ei ylitä arvoa $2 \text{ kW(m}^3/\text{s)}$ koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä. Vastaava arvo on $1 \text{ kW(m}^3/\text{s)}$ pelkällä koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä [11]. Arvon $2 \text{ kW(m}^3/\text{s)}$ saa kuitenkin ylittää jos sille on rakennuksen sisäilmaston kannalta perustelut [13].

Eurooppalainen standardi EN 13779 antaa ohjeita suoritusarvon ylittävälle SFP-luvulle silloin kun se on perusteltavissa. Kuvassa 8 on lueteltu mahdollisia lisäkomponentteja. Korkean hyötysuhteen LTO-osa on ilmaantuvuudeltaan yleisin, sillä etenkin nykyaikaisella regeneratiivisella lämmönsiirtimellä päästään helposti yli 70 prosentin hyötysuhteen. SFP-luku $2,3 \text{ kW(m}^3/\text{s)}$ täyttäisi siis vielä ohjeistuksen arvon sen kanssa. Loput kuvan komponenteista vaativat erikoisolosuhteita. Tällaisia voivat olla esimerkiksi sairaala- ja tietyt tuotantotilat.

Sallittu SFP-luvun perustaso ylitys tietyille ilmankäsittelykomponenteille

Komponentti	sallittu ylitys ($\text{kW/(m}^3/\text{s)}$)
mekaaninen lisäsuodatusosa	+ 0,3
HEPA -suodatin	+ 1,0
kaasusuodatin	+ 0,3
korkean (yli 70%) hyötysuhteen LTO-osa	+ 0,3
suurtehojäähdytin	+ 0,3

Kuva 8. Sallittu SFP-luvun perustason ylitys tietyille ilmankäsittelykomponenteille [13].

Muuttuvan ilmapirran ilmanvaihtojärjestelmissä eli tarpeenmukaisesti ohjatuissa järjestelmissä ominaissähköteho määritellään aina mitoittavan ilmapirran mukaan. Käytännössä tämä useimmiten tarkoittaa palvelualueelle suunniteltua ilmamäärää eli maksimi-ilmamäärää. SFP-luku määritellään ja saadaan selville yleensä koneajon yhteydessä muitakin komponentteja tarkastellessa.

Kanaviston kokonaispainehäviön vaikutus ominaissähkötehoon on merkittävä. Kanaviston ja ilmanvaihtokoneen sisäisten osien aikaansaamasta painehäviöistä muodostuu pu-

halvimien mitoituksessa käytettävä paineenkorotuksen tarve. Kanavisto tulee siis suunnitella painehäviöltään mahdollisimman symmetrisesti, jotta haarojen säätöpeltejä ei tarvitse liiallisesti kuristaa haluttujen ilmavirtojen aikaansaamiseksi. Säätöpelteiden kuristaminen aiheuttaa ilmavirralla vastusta, jolloin painehäviö nousee, säädettävyyden heikkenee ja äänihaittojen riski kasvaa.

Sähkötehokkuus huononee sitä mukaan, mitä enemmän puhaltimilta vaaditaan paineenkorotusta [13]. Taulukossa 3 määritellään suositeltuja kanaviston kokonaispainehäviöitä suunnitteluun.

Taulukko 3. Suositeltuja arvoja ilmanvaihtokanaviston kokonaispainehäviölle [13].

Tyyppi	Kanaviston kokonaispainehäviö
Vakioilmavirtainen kanavisto	200 Pa
Muuttuvailmavirtainen kanavisto	300 Pa
Asuntokohtaisen ilmanvaihdon kanavisto	50-100 Pa

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus voidaan laskea kaavalla 7. Oleelliset arvot laskennassa on ominaissähköteho, ilmavirta ja koneen käyttöaika laskentajaksolla tunneissa.

$$W_{ilmanvaihto} = \sum SFP q_v \Delta t + W_{iv, muu} \quad (7)$$

$W_{ilmanvaihto}$ on sähköenergian kulutus, kWh

SFP on ominaissähköteho, kW/(m³/s)

q_v on ilmavirta, m³/s

Δt on koneen käyttöaika laskentajaksolla, h

$W_{iv, muu}$ on muu sähkönkulutus, kWh

Ilmanvaihdon sähköenergian kulutus kilowattitunteina (kWh) on helppo tämän jälkeen kertoa käytössä olevan sähkösopimuksen hinnoittelun mukaan kustannuksien selvittämiseksi.

Vuoden 2016 alusta vaaditaan valmistajilta myös ilmanvaihtokoneen sisäinen ominaissähköteho SFP_{int} . Se lasketaan koneen viitekokoonpanolla. Ilmanvaihtokoneen vaippa,

puhaltimet, lämmöntalteenotto ja puhtaat suodattimet tarvitaan lähtötiedoiksi. Raja-arvot saadaan ekosuunnitteludirektiivistä 2009/125/EY (N:o 1253/2014). [24.]

3.5 Lämmöntalteenotto

3.5.1 Lämmönsiirtimet

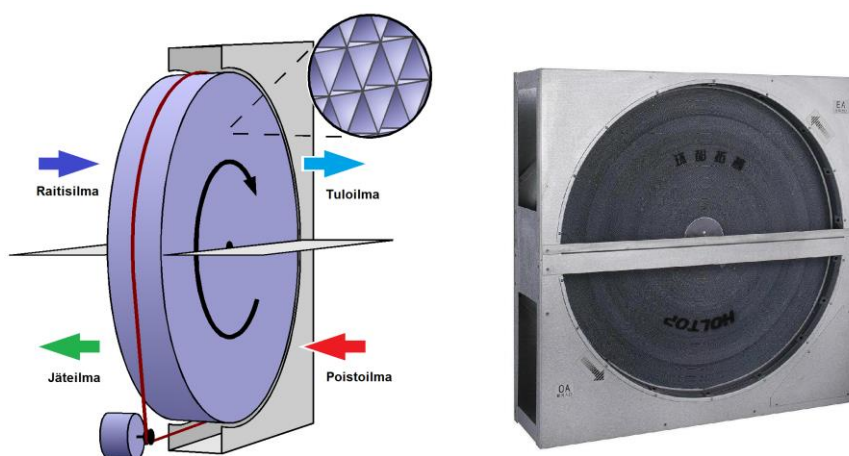
Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto (LTO) voidaan toteuttaa monella erilaisella ratkaisulla. Oikeanlainen lämmönsiirrin tulee valita koneen yhteyteen tapauskohtaisesti, ja valintaan vaikuttavat monet lähtötiedot kuten varatun tilan koko, palvelualueen käyttötarkoitus, haluttu energiatehokkuus ja kustannukset. Toimivan lämmöntalteenottolaitteen puuttuminen ilmastointikoneen yhteydestä tarkoittaa huomattavaa energiankulutuksen kasvua, sillä lämmityskautena LTO kykenee parhaimmillaan siirtämään jopa 70–80 % poistoilman lämmöstä tuloilmaan. Nykyään LTO:n tulee löytyä jokaisen koneen yhteydestä [24].

Aikaisemmin, vielä 80-luvulla, kun lämmöntalteenotto ei ollut rakentamisessa välttämätön, käytettiin ilmastoinnin lämmitykseen silloin tällöin hyödyksi kiertoilmapellillä ohjattua palautusilmaa. Ratkaisussa lämmitystehon tarpeen noustessa ilmanvaihtokoneen yhteydessä oleva kiertoilmapelti aukenee ja raitisilmapelti sulkeutuu samassa suhteessa, jolloin myös epäpuhtaudet poistoilmasta pääsevät siirtymään suoraan tuloilmakanavaan. Lämmönsiirtimet on nykyään kuitenkin tarkoitettu sellaisiksi, että poistoilmaa siirtyy mahdollisimman vähän tuloilmaan tai ei lainkaan [3]. Palautusilmaa hyödyntävät järjestelmät ovat siis nykyisten määräyksien perusteella kiellettyjä, mikäli palautusilman laatu ei ole D2:n määrittämää luokkaa 1. Tulo- ja poistoilmavirtojen pitäminen prosessissa toisistaan erillään ja komponenttien riittävä tiiveys mahdollistavat puhtaan tuloilman tuottamisen.

Pyörivä regeneratiivinen lämmönsiirrin eli pyörivä LTO-kiekko tarjoaa parhaan lämmöntalteenottokyvyn. Nykyaikainen tiivis LTO-kiekko pystyy pääsemään yli 70 %:n hyötysuhteeseen, ja teoreettisena ylärajana on 100 %. Tämä riittääkin talven kovimpia pakkasia lukuun ottamatta kattamaan lähes täysin koko vuoden aikaisen tuloilman lämmitystarpeen. Lämmönsiirtimen aiheuttava painehäviö on kohtuullinen ja tilantarve pieni [7, s 178], mutta rakenteensa takia se ei sovellu käyttötarkoituksiin, joissa poistoilma on epäpuhdasta. Hajujen siirtymistä esimerkiksi keittiö- tai wc-tilojen poistosta tuloilmaan ei saa tapahtua ja tällaisiin toteutuksiin tulee valita toinen LTO-tapa, mikäli likaiset ilmavirrat halutaan johtaa lämmönsiirtimen läpi.

Pyörivä LTO koostuu roottorista ja käyttölaiteistosta. Roottorin pyörittämiseen käytetään pääsääntöisesti taajuusmuuttajalla ohjattua moottoria, ja kaikkea toimintaa ohjaa kiinteistöautomaatiikka.

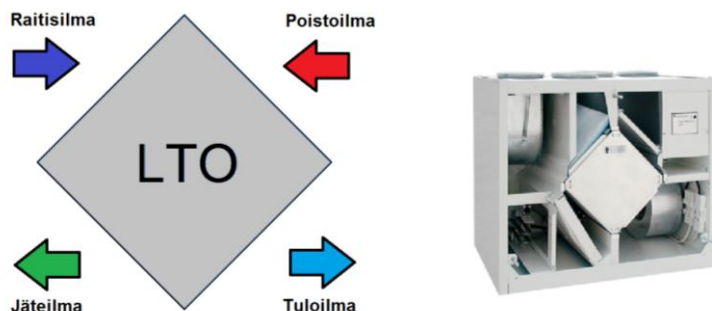
Lämmönsiirrin vaatii toisistaan vastakkaisiin suuntiin kulkevat ilmavirrat, mikä takaa hyötysuhteen paranemisen lisäksi roottorin puhtaaksipuhallussektorin toiminnan [7, s 180]. Kiekon mallinen roottori pyörii noin 0,5–15 kierrosta minuutissa. Kierrosnopeuden nostaminen nostaa lämmöntalteenoton tehokkuutta. Kuvassa 9 on havainnollistettu pyörivän LTO-kiekon toimintaperiaate.



Kuva 9. Pyörivä regeneratiivinen lämmönsiirrin eli LTO-kiekko.

Etenkin pientalojen ilmanvaihdossa käytetään usein ristivirtaan perustuvaa levylämmönsiirrintä, joka näkyy kuvassa 10. Se on kustannustehokas, hygieeninen, talteenotto-ominaisuuksiltaan ja kooltaan kohtuullinen LTO-tyyppi. Ristivirtalevylämmönsiirtimessä ilma kulkee ohuiden, usein alumiinilevyjen välissä, jolloin lämpö siirtyy poistoilmasta tuloilmaan. Lämmönsiirrin on toimintavarma, sillä sen ainoat liikkuvat ovat moottoripeltejä ja se voidaan valmistaa hyvin tiiviiksi. Ongelmaksi tällä LTO:lla muodostuu huurtuminen ja laitteeseen tiivistyneen kosteen jäätyminen jo noin $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteen ulkolämpötilassa. Tehokkain keino huurteenpoistoon on varustaa laite lohkosulatuksella.

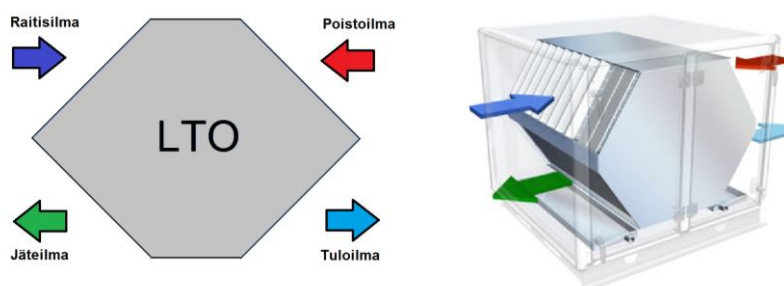
Korkein hyötysuhde ristivirtalevylämmönsiirtimelle on noin 65 %. Tämä siirrintyyppi ei edellytä tulo- ja poistoilmavirtojen kulkemista eri suuntiin, sillä ne joka tapauksessa kulkevat laitteessa ristikkäin. [7, s. 180–182.]



Kuva 10. Ristivirtalevylämmönsiirrin ja pieni ilmastointikone.

Vastavirtalämmönsiirrin eli LTO-kuutio on muuten ominaisuuksiltaan samankaltainen kuin ristivirtalämmönsiirrin, mutta sen geometria takaa tulo- ja poistoilmavirtojen liikku-
misen enemmän toisiaan vastakkaisiin suuntiin. Tästä seuraa huomattavasti korkeampi lämpötilahyötysuhde ristivirtaiseen malliin verrattuna. Markkinoiden parhaimmat vasta-
virtaiset mallit kykenevätkin jopa 80 %:n lämpötilahyötysuhteeseen. Koska laite hyödyn-
tää poistoilmasta vieläkin enemmän energiaa, laskee jäteilman lämpötila entistäkin
alemmaksi ja huurtumisen estosta on ehdottomasti huolehdittava. Kuution huurtu-
misenestoon voidaan käyttää lohkosulatustoiminnon lisäksi esimerkiksi ohituspeltiä – ja
joissain tilanteissa esilämmityspatterinkin sijoittaminen LTO-kuution yhteyteen saattaa
tulla tarpeeseen. [7, s. 183.]

LTO-kuutiossa epäpuhtauksia siirtyy hyvin vähän tuloilmaan, joten se soveltuu palvele-
maan esimerkiksi ravintolatilojen yleisilmastointia, joihin puolestaan LTO-kiekko ei ole
soveltuva ratkaisu. Ongelmaksi LTO-kuutiolle muodostuu lähinnä sen suuri tilantarve.
Kun ilmavirrat alkavat olemaan suuria, on kuution ja sitä myötä koko ilmastointikoneen
koko huomattava. Kuvassa 11 esitetään LTO-kuution toimintaperiaate.



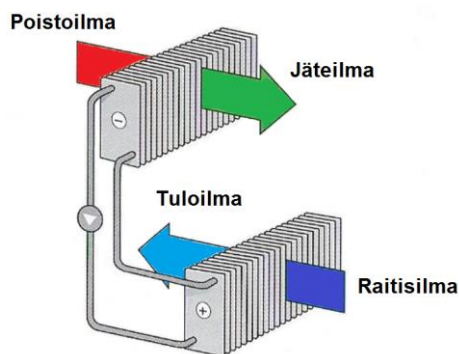
Kuva 11. Vastavirtalevylämmönsiirrin eli LTO-kuutio.

Nestekiertoisen lämmöntalteenoton eli glykoli-LTO:n hyötysuhde on alhaisempi edellä mainittuihin tyyppeihin verrattuna: 50 % on jo nestekiertoiselle mallille hyvä saavutus. Tulo- ja poistokanavassa on molemmissa rakenteeltaan lämmitys- tai jäähdytyspatteria muistuttava lämmönsiirrin, jotka on yhdistetty toisiinsa putkistolla. Lämpöenergian siirtyminen poistoilmasta tuloilmaan tapahtuu putkistossa ja pattereilla kiertävän väliaineen, yleensä etyleeniglykoli-vesiseoksen välityksellä.

Koska lämmönsiirto tapahtuu pienillä lämpötilaeroilla, tulee LTO-pattereiden pinta-ala olla riittävän suuri halutun tehokkuuden saavuttamiseksi. Nestekiertoisen lämmöntalteenoton piirissä on pumppu ja 3-tieventtiili, jota ohjataan automaatiolla haluttuun asentoon. Huurteen- ja jäätymisenesto toteutetaan venttiiliä ja pumppua ohjaamalla ja tarvittaessa puhaltimien tehoa säätämällä. [7, s. 184.]

Nestekiertoisessa lämmöntalteenotossa olisi pelkkiä lämmönsiirto-ominaisuuksia tarkasteltaessa parasta käyttää ainoastaan vettä kierrossa. Pelkkä vesi kuitenkin jäätyy ilmastointikoneen kannalta jo hyvin korkeassa lämpötilassa, joten seokseen täytyy lisätä jotain jäätymisenestoainetta putkirikkojen välttämiseksi. Yleisesti veden seassa käytetään etyleeniglykolia mahdollisimman pienissä määrissä, maksimissaan noin 30 %:n pitoisuuksina. Nesteen tulisi olla aina valmiiksi sekoitettua ja saman vahvuista, jotta seoksen homogeenisuus säilyy. Mikäli glykolipiirissä kiertävä neste on huonosti sekoitettua, voi osa siitä olla lähes puhdasta vettä ja osa vahvempaa glykoliseosta [7, s. 186]. Huonon seoksen tuomina vaaroina on talteenoton tehokkuuden selvä lasku ja putki- ja patteririkot pakkasella veden jäätyessä.

Vaikka glykoli-LTO on lämmönsiirtokyvyltään huono, löytyy siitä paljon erityispiirteitä, jotka tekevät siitä moniin tilanteisiin parhaimman vaihtoehdon. Patterit ovat toisistaan täysin erillään, mikä takaa että ilmavirrat eivät sekoitu ollenkaan keskenään. Tämä on tärkeä ominaisuus ilmanvaihdossa muun muassa sairaala- ja tuotantotiloissa. Lisäksi tulo- ja poistopuhaltimet ja muut komponentit voivat sijaita kokonaan eri tiloissa mikä helpottaa koneiden sijoitusta. Myös vanhojen järjestelmien saneerauksissa glykoli-LTO:n asentaminen on suhteellisen helppoa verrattuna muihin lämmönsiirtimiin sen joustavuuden takia. Kuvassa 12 esitetään nestekiertoisen LTO. [7, s. 184.]



Kuva 12. Nestekiertoinen lämmöntalteenotto [7, s. 184].

Glykoli-LTO:n yhteyteen voidaan myös liittää muita järjestelmiä energiatehokkuuden parantamiseksi, jolloin voidaan puhua integroidusta lämmöntalteenotosta. Esimerkiksi jäähdytyslaitteiden lauhdelämpöä voidaan ottaa talteen ja hyödyntää. Lisäksi lämmitys ja jäähdytys voidaan liittää kiertoon. [7, s. 187.]

3.5.2 Lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhde

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhde on hyvä tieto ilmanvaihtojärjestelmien energiatehokkuuden kannalta. Se kuvaa LTO-laitteen kykyä siirtää poistoilman lämpöenergiaa tuloilman lämmityksen tarpeisiin. Tuloilman lämpötilahyötysuhdetta kuvaava prosenttiluku lasketaan tuloilman lämpenemisen suhteesta poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaerotukseen. Itse LTO-laitteen lisäksi hyötysuhteeseen vaikuttaa oleellisesti laitteiston tulo- ja poistoilmavirtojen keskinäinen suhde. Mitä suurempi poistoilmavirta on, sitä enemmän siitä saadaan energiaa talteen. Poistoilman lämmöntalteenotto-laitteiden tyypillisiä tuloilman lämpötilahyötysuhteita [14] ja ekosuunnitteludirektiivin 2009/125/EY (N:o 1253/2014) vaatimuksia [23] on lueteltu seuraavana:

- Virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirrin yhdistelmät, eli useimmiten glykoli-LTO; 40 - 60 %. Uudet vuoden 2016 jälkeen asennetut laitteet pitää olla hyötysuhteeltaan yli 63 %. Vuonna 2018 luku kiristyy 68 %:iin. Yhtenä ratkaisuna on esimerkiksi lauhdelämmön hyödyntäminen.
- Ristivirtalevylämmönsiirtimet; 50 - 70 %. Vähimmäisvaatimus 2016 on 67 % ja vuonna 2018 73 %. Jatkossa ristivirtaisella tulee olemaan pahoja ongelmia direktiivin täytössä fyysisten ominaisuuksien vuoksi.
- Vastavirtalevylämmönsiirtimet, eli LTO-kuutio; 60 - 80 %. Puolestaan vähimmäisvaatimus 2016 on 67 % ja vuonna 2018 73 %. Tulevat todennäköisesti korvaamaan ristivirtaiset, mutta kuution koko tuo haasteita.

- Regeneratiiviset lämmönsiirtimet, eli LTO-kiekko; 60 - 80 %. Vähimmäisvaatimus 2016 on 67 % ja vuonna 2018 73 %. LTO-kiekko pääsee vaatimukseen helposti jo nyt ja tulee yleistymään entisestään.

Lämmöntalteenottolaitteiden hyötysuhteet pyritään mitoittamaan ulkoilman lämpötilalla 0 °C, ellei valmistaja toisin ilmoita. Nykyaikaisissa ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmissä LTO on hyvin tärkeä laite. Sillä pyritään välikausina kattamaan suurin osa tai kokonaan tuloilman lämmitysenergian tarpeesta. Talvipakkasilla sen tulee myös olla toiminnassa, sillä ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterit on yleensä mitoitettu LTO silmällä pitäen. Myös kesällä joissain järjestelmissä, esimerkiksi toimistotaloissa, voi olla käytössä jäähdytyksen talteenotto toiminto, jolla pyritään vähentämään tuloilman jäähdytyksestä aiheutuvia kuluja. Kaavalla 8 saadaan laskettua tuloilman lämpötilahyötysuhde [14].

$$\eta_t = \frac{t_{tLTO} - t_u}{t_s - t_u} \quad (8)$$

η_t on tuloilman lämpötilahyötysuhde, %

t_{tLTO} on tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen, °C

t_u on ulkoilman lämpötila, °C

t_s on poisto- tai huoneilman lämpötila m³/s

3.5.3 Tuloilman lämmitysenergian nettotarve LTO:n jälkeen

Lämmöntalteenotto ei yleensä riitä talvella ja pakkaskeleillä kattamaan kokonaan energiantarvetta tuloilman lämmitykselle. Näin voi tapahtua lämpimämmilläkin keleillä, mikäli ilmastointikoneen tuloilman puhalluslämpötilan asetusarvot on aseteltu korkeiksi: esimerkiksi välille 19 ... 24 °C. LTO:n jälkeinen lämmitys toteutetaan prosessissa yleensä vesikiertoisella lämmityspatterilla.

Ilmastointikoneen asetusarvoja säädettäessä tulee muistaa, että muutamankin asteen korotus puhalluslämpötilaan voi nostaa lämmitysenergiankulutusta huomattavasti. Kulutuksen mahdollinen nousu korostuu etenkin välikausina ja kesällä, jolloin pelkkä lämmöntalteenotto pystyy nostamaan tuloilman lämpötilan 15 °C:n yläpuolelle, eli tilanteessa jolloin muuta lämmitystä ei varsinaisesti tarvittaisi.

Kaavalla 9 voidaan laskea ilmanvaihdon tuloilman lämmitysenergian nettotarve [11]. Ellei parempaa tietoa ole, voidaan puhaltimen tuottaman lämpötilan nousun arvona pitää 0,5 °C.

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} ((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) \Delta t / 1000 \quad (9)$$

Q_{iv} on ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh

t_d on ilmanvaihtolaitoksen vrk käyntiaikasuhte, h/24h

t_v on ilmanvaihtolaitoksen vk käyntiaikasuhte, vrk/7 vrk

ρ_i on ilman tiheys, kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

q_v on tuloilmavirta, m³/s

T_{sp} on sisäänpuhalluksen lämpötila, °C

$\Delta T_{puhallin}$ on lämpötilan nousu puhaltimessa, °C

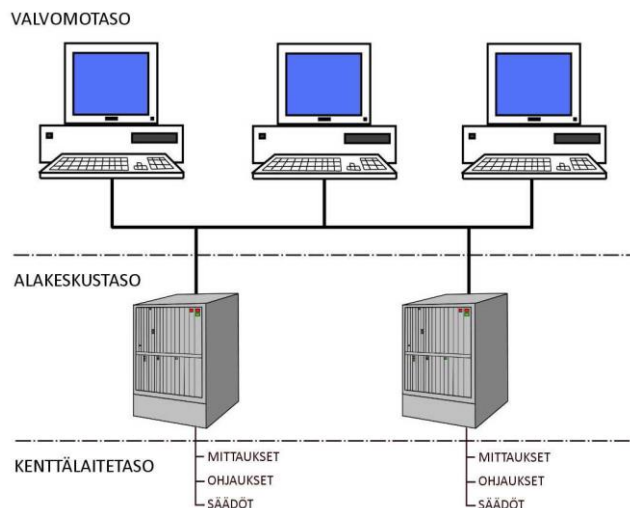
T_{lto} on LTO jälkeinen lämpötila, °C

3.6 Keskitetty kiinteistö- eli rakennusautomaatiojärjestelmä

Automaatiotekniikan yksi osa-alueista on rakennusautomaatio. Tällä kiinteistön talotekniikan ja erillisjärjestelmien ohjaukseen tarkoitetulla järjestelmällä pyritään vaikuttamaan muun muassa sisäilman, olosuhteiden, valaistuksen ja turvallisuuden hallintaan. Käytännössä rakennusautomaation tarkoituksena on ohjata kiinteistön teknisiä laitteita, jotta niiden käyttö ja toiminta olisi suunnitelmien mukaista ja samalla takaisi myös puitteet energiatehokkuuden kehittämiseksi. Tekniikan elinkaari myös pitenee sitä oikein käytettäessä. [15.]

Keskitettyä rakennus- eli kiinteistöautomaatiojärjestelmää toimisto-, teollisuus- ja liikekiinteistöissä ohjataan sille tarkoitettulta tietokoneelta, jota usein valvoo ja käyttää huoltohenkilökunta. Valvomon tietokone on yhteydessä valvonnan alakeskuksiin (VAK). Kenttälaitteet, kuten anturit ja toimilaitteet vastaavat yhteistyössä alakeskusten kanssa mittausten, ohjausten ja säätöjen toteutumisesta. Ihanteellisessa tilanteessa ja oikein säädettyinä rakennusautomaatio toimii lähes itsenäisesti, eikä käyttäjän tarvitse siihen koskea huoltotoimenpiteitä lukuun ottamatta. Alakeskukset on myös yleensä varustettu

akuin tai UPS-laittein, jotka takaavat niihin ladattujen tietojen säilymisen myös häiriötilanteiden, kuten sähkökatkon aikana. Kuvassa 13 esitetään järjestelmähierarkia periaatasolla.



Kuva 13. Järjestelmähierarkia [16].

Suuren kiinteistön toimintaympäristössä on lähes mahdotonta saada energiansäästöä aikaiseksi ilman toimivaa rakennusautomaatiojärjestelmää. Kiinteistön omistajalla saat-
taa olla tiukkojakin tavoitteita energiankulutukselle ja sen vähentämiselle. Parannuksia rakennuksen kulutukseen voidaan hakea monin tavoin – vanhan tekniikan kunnostuk-
sella, laitteiden uusimisella tai myös menetelmillä, jotka perustuvat laitteiston ohjausta-
van muuttamiseen ja parantamiseen.

Keskitetyn rakennusautomaatiojärjestelmän avulla käyttäjä pystyy tarkkailemaan esi-
merkiksi kulutusta, hälytyslistaa, aikaohjelmia ja tilatietoja. Huoltohenkilökunta pystyy
järjestelmän avulla paikantamaan laitteiden teknisiä vikoja tehokkaasti ja vaikuttamaan
esimerkiksi sisäilmaston olosuhteisiin ja valaistuksen toimintaan.

4 Projekti: Ilmastoinnin energiatehokkuus, Kauppakeskus Itis

4.1 Kohdetiedot

Kauppakeskus Itis sijaitsee Helsingin Itäkeskuksessa. Rakennuksen osat on rakennettu useammassa vaiheessa joista ensimmäinen valmistui vuonna 1984. Laajennusvaiheita on tämän jälkeen otettu käyttöön kaksi: vuosina 1992 ja 2001. Kiinteistön vuokrattava pinta-ala on 115 300 neliömetriä ja kokonaispinta-ala noin 200 000 neliömetriä. Liikkeitä kauppakeskuksessa on yli 150 kappaletta ja vuoden 2012 kävijämäärä kiinteistössä oli 17,9 miljoonaa. Kauppakeskus Itiksen on omistanut vuodesta 2002 lähtien Hollantilainen kiinteistösijoitusyhtiö Wereldhave Finland Oy. [17.]

Kuvassa 14 on näkymä kauppakeskuksen vuonna 1992 valmistuneelta osalta, jota saneerattiin ja uudistettiin rakenteellisesti vuonna 2014.



Kuva 14. Kauppakeskus Itis, näkymä bulevardilta, rakennusvaihe II [18].

Kauppakeskuksen talotekniikka on peräisin neljältä eri vuosikymmeneltä: vanhimmat järjestelmät ovat 1980-luvun alusta ja uusimmat vuodelta 2016. Kiinteistön tiloja palvelee yli 80 keskusilmastointikonetta ja näiden lisäksi kiinteistössä on runsaasti erillisiä huipputureita ja kanavapuhaltimia. Itiksen ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmistä suuri osa saavuttaa muutaman vuoden sisään elinkaarensa pään, eli ne ovat pian 25 vuotta vanhoja.

Kiinteistö on liitetty kaukolämpöön. Liiketilojen, ravintoloiden, käytävien ja toimistojen lämmitys toteutetaan ilmastoinnilla, radiaattoreilla ja kiertoilmalämmityskoneilla. Jäähdytystä palvelevat suurikokoiset vesikatoille asennetut vedenjäähdytyskoneet. Uusiutuvaa energiaa ei kauppakeskuksessa juurikaan hyödynnetä, mutta lauhdelämpöä käytetään muutamassa tapauksessa lämmitykseen.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto löytyy pääsääntöisesti jokaisen keskuskoneen yhteydestä. Vanhimmissa, vuoden 1984 koneissa hyödynnetään tuloilman lämmitykseen kiertoilmapellein ohjattua palautusilmaa. Taulukossa 4 on kuvattu kauppakeskuksen ilmanvaihtoon suunniteltuja keskimääräisiä ilmavirtoja eri rakennusvaiheittain.

Taulukko 4. Kauppakeskus Itiksen suunnitellut ilmamäärät rakennusvaiheittain [19].

Rakennusvaihe	Liiketilojen ilmavirrat	
1. vaihe, 1984	3	dm ³ /m ² ,s
2. vaihe, 1992	4	dm ³ /m ² ,s
3. vaihe, 2001	4-8	dm ³ /m ² ,s

Ilmavirrat ovat rakentamisajankohdan määräyksiin nähden hieman korkeampaa tasoa. Ilmavirtoja säädetään tarpeenmukaisesti lämpötilojen, ajan ja hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Tehoreserviä on siis pyritty jättämään ilmanvaihdolle jo suunnitteluvaiheessa.

4.2 Projektin tavoitteet

Projektin päämääränä on tuottaa kiinteistölle, sen omistajalle ja tekniselle isännöinnille tutkimus kauppakeskuksen ilmastoinnin energiatehokkuudesta. Projektin taustalla on keskusilmastointikoneiden saneerauksen tarpeen kasvu lähivuosina niiden saavuttaessa pian elinkaarensa pään. Kiinteistön koon ja taloteknisten järjestelmien monipuolisuuden takia harkinnassa on myös vanhojen laitteiden käyttöiän pidentäminen esimerkiksi puhaltimien vaihdoilla tai tiettyjen komponenttien kunnostamisen avulla.

Insinööriyön projektin pääkohdat ovat seuraavat:

- Kiinteistön pääilmastointikoneiden (78 kpl) dokumentointi: koneiden SFP-luvun, LTO:n hyötysuhteen, mitoittavien ilmavirtojen sekä koneiden perustietojen listaus

- Osa- ja konekohtainen pääilmastointikoneiden vertailuasteikko
- Tarpeenmukaisen ohjauksen tutkiminen ja energiatehokkuuslaskelma esimerkkikoneen C301 puhallinsähkön ja lämpöenergian kulutuksesta
- Kauppakeskusolosuhteissa esiintyvien ilmastoinnin ongelmien pohtiminen ja ilmastoinnin vuosikelloon liittyvät asiat

4.3 Kauppakeskuksen ilmastoinnin pääkoneiden dokumentointi

4.3.1 Lähtötilanne ja tavoitteet

Aineiston kerääminen kauppakeskus Itiksen pääilmastointikoneista aloitettiin tammikuun 2016 lopulla. Pohjatyötä tutkimukseen tein kesästä 2015 lähtien työskennellessäni kiinteistössä aluksi huoltomiehen, ja sittemmin LVIA-konsultin ja talotekniikan teknisen ylläpidon tehtävissä. Tarvittavien tietojen kerääminen saatiin päätökseen maaliskuun 2016 puolivälissä. Prosessi vaati tiedustelua useilta eri tahoilta, ja tietojen etsiminen auttoi lopulta myös kiinteistöä teknisten dokumenttien organisoinnissa.

Dokumentointiin on kerätty laitteiden energiatehokkuuden kannalta oleellisia tietoja. Tarkemmat laitteiden tiedot kuten tyyppitiedot, hihnapyörien koot, suodattimien mallit ym. eivät ilmene tästä tutkimuksesta. Työssä ei ole myöskään huomioitu kiinteistön erilisiä huippuimureita, kanava- tai kiertoilmapuhaltimia.

Työn keskiössä on 78 kauppakeskuksen keskusilmastointikonetta, joiden yhteyteen on lähes jokaiseen asennettu lämmöntalteenotto. Muutama vuodelta 1984 peräisin oleva kone jouduttiin pudottamaan taulukosta puutteellisten tietojen takia.

Kauppakeskuksen olosuhteet tuovat haasteita ilmanvaihdon ja ilmastoinnin mitoittamiseen. Itiksessä LVI-suunnittelussa on ollut tavoitteena tasapainotilan aikaansaaminen palvelualueille. Tulopuolen ilmavirrat ja puhaltimet ovat useimmiten suurempia kuin poistopuolen. Tasapainotilassa palvelualueella sijaitsevien liiketilojen käytävään ja halleihin avoimet ovet eivät pääse toimimaan siirtoilma-aukkoina, eivätkä aiheuta lämpötila-, veto- tai sisäilmaongelmia liiketiloissa. Erillispoistot, joita on esimerkiksi wc- ja keittiötiloista ovat yksi suurimmista poistoilmavirtaa kasvattavista tekijöistä.

4.3.2 Ilmastointikoneiden koontitaulukko

Insinööriyön projektin tärkeimpänä tuotoksena voidaan pitää kauppakeskus Itiksen ilmastointikoneiden koontitaulukkoa. Se kattaa kaikki rakennuksen 7 osaa, A-I, ja on kattava tutkimus laitteiden energiatehokkuuden kannalta. Otannassa on mukana 78 konetta.

Koneiden ja laitteiden fyysiseen kuntoon ei oteta koontitaulukossa kantaa. Suuri osa tekniikasta on kuitenkin vanhaa ja käyttöikänsä loppupuolella. Luvut puhuvat puolestaan – esimerkiksi huono lämmöntalteenoton hyötysuhde kuvastaa usein viallista tai vanhaa laitetta. Myös koneiden käyttöönottovuodesta voi päätellä niiden kuntoa, sillä hyvin harvaan on kiinteistössä vaihdettu jälkeensä esimerkiksi pattereita tai puhaltimia. Vedenjäähdytyskoneet ja verkostojen lämpötilat on rajattu työstä pois laajuutensa takia, sekä sillä oletuksella, että ilmastointia tukevat erillisjärjestelmät toimivat oikeanmukaisesti.

Kuvassa 15 on esimerkki koontitaulukosta. Siihen on listattu F-osan eli Piazzan pääkoneet, joita on 12 kappaletta. Piazzalla oli alun perin paljon ravintoloita, minkä takia koneet ovat keskenään hyvin samankaltaisia ja niiden lämmöntalteenottona käytetään neste-kiertoista glykoli-LTO:ta. Sittenkin käyttötarkoitus on muuttunut Stockmannin muuttamassa alueella.

SFP-luvut vuonna 2001 valmistuneissa koneissa ovat vieläkin kohdillaan, mutta nykytarvintaan väärän malliset lämmöntalteenotot verottavat kokonaisuutta huomattavasti. Alueelle soveltuisi ravintolaa ja herkkumyymälää lukuun ottamatta lämmöntalteenotoksi paremmin LTO-kiekko. Econet-koneiden hyötysuhteet puuttuvat taulukosta. Econet-patteri ei ole varsinaisesti pelkkä LTO-laite, vaan siinä on samaan kiertoon yhdistetty lauhde-, lämmitys- ja jäähdytyspatteritkin. Hyötysuhteeltaan se on jokatapauksessa huomattavasti parempi kuin tavanomainen glykoli-LTO.

Piazzalla lämmöntalteenoton hyötysuhteet ovat keskimäärin hieman alakanttiin, alle 40 %. Glykolinesteiden vaihtaminen voisi auttaa asiaan. Liian vahva seos vähentää LTO-piirissä virtaavan nesteen lämmönsiirtokykyä. Vastaavasti liian laimea neste voi -1 °C asteen ulkolämpötilalla hyytyä ja liikkua piirissä heikommin. Nesteen joukkoon on saattanut myös päästä ilmaa. Myös venttiilien ja pumpppujen asetuksissa ja toiminnassa saattaa löytyä parannettavaa. Erityisesti kone F306 nousee taulukosta esille. Vain 8 %:n tuloilman hyötysuhteen suurin selittäjä on huomattava kokoero tulo- ja poistopuhaltimen

välillä. Poistopuhallin on ilmavirraltaan alle puolet tulokoneesta kun kumpaakin käytetään täydellä teholla.

Suurinta osaa F-osan ilmastointikoneista yhdistää 2-nopeusohjaus. Vanhanaikaisilla VAK:eilla ja huonokuntoisilla antureilla ohjatut laitteet voisivat toimia huomattavasti paremmin taajuusmuuttajakäytöllä ja toimivalla kiinteistöautomaatiolla. 2-nopeus antaa onneksi jotakin pelivaraa ohjaukseen, mutta esimerkiksi talven pakkasilla glykoli-LTO:n omaavien koneiden toiminta häiriintyy LTO-piirin nesteen jäähtyessä lähelle jäätymisspistettä. Täysiteholla käyvät puhaltimet joudutaan tällöin usein ohjaamaan puolelle teholla. Lisäksi mikäli poistokone jätetään käymään täydelle teholle ja tulopuhallin puolikkaalle, saattaa vuotoilma jäähdyttää tilat turhan viileiksi talvella.

F-osa (Piazza / Stockmann):					Ilmavirta m3/s				Ulkolämpötila -1 °C			Lämmitys ja					
					Konekortti		Maksimi		Poistol. 20 °C, +2 °C			Lämmöntalteenotto					
Tunnus	Nimi	Vuosi	Pääkäyttö	Ohjaus	TF	PF	TF	PF	SFP	Tyyppi	Hyötysuhde	LP	JLP	JP	JJP	Kontti?	Arvio
F301	1.krs keskialueet	2001	Liiketila	Taaj.m.	12	10,3	10,7	9,5	2,28	Glykoli	37 %	x	-	x	-	ei	6
F302	2.krs keskialueet	2001	Liiketila	Taaj.m.	8,6	10,3	8,8	4,9	2,46	Glykoli	39 %	x	-	x	-	ei	6
F303	1.-2.krs pohjoispää	2001	Liiketila	2-nop.	8,9	8,7	7,4	7,6	2,33	Glykoli	43 %	x	-	x	-	ei	5,5
F304	1.krs eteläpää	2001	Liiketila	2-nop.	6,8	6,4	5,2	4,3	2,14	Glykoli	34 %	x	-	x	-	ei	5,5
F305	2.krs eteläpää/itäreuna	2001	Liiketila	2-nop.	6,4	6,4	2,4	4,8	2,03	Glykoli	44 %	x	-	x	-	ei	5,5
F306	1.-2.krs kahvila/parturi	2001	Ravintola	2-nop.	5,8	1,9	4	-	1,77	Glykoli	8 %	x	x	x	-	ei	5,5
F307	1.krs itäreuna	2001	Liiketila	2-nop.	7,1	5,5	3,3	-	2,05	Glykoli	24 %	x	-	x	-	ei	5
F308	Ravintola McDonald's	2001	Ravintola	2-nop.	2,8	0,9	2,9	0,8	1,87	Glykoli	23 %	x	x	x	-	ei	5,5
F309	1. - 2.krs länsireuna	2001	Liiketila	2-nop.	6,5	6,3	6,7	5,3	2,11	Glykoli	37 %	x	-	x	-	ei	5,5
F311	Herkkumyymälä K-P.krs	2001	Elintarv.	2-nop.	4	4	2,2	1,2	2,19	Glykoli	28 %	x	-	x	-	ei	5
F315	Herkkumyymälä P-krs	2013	Elintarv.	Taaj.m.	3,38	2,87	3,3	3,1	1,75	Econet*	-	*	4x	*	-	ei	8
F316	Herkkumyymälä K-P.krs	2013	Elintarv.	Taaj.m.	3,68	3,24	3,5	2,1	1,84	Econet*	-	*	5x	*	-	ei	8
																	5,9

Kuva 15. Esimerkki Itiksen ilmastointikoneiden koostetaulukosta. F-osa.

Ilmastointikoneiden koontitaulukon sisältö on seuraava:

- Tunnukset, käyttöönottovuosi ja kiinteistövalvomon PC:llä mainittu palvelualue
- Koneen palvelualueella sijaitsevien tilojen pääasiallinen käyttötarkoitus
- Puhaltimien moottorien ohjaustapa eli 1-nopeus, 2-nopeus, taajuusmuuttajakäyttö tai EC-moottori
- Konekortista löytyvä ja kiinteistöautomaation kautta täydellä käyntiteholla mitattu ilmavirta sekä tulo-, että poistokoneelta
- Arvio puhaltimien yhteenlasketusta ominaissähkötehosta, eli SFP-luku (katso luku 4.3.3)
- Lämmöntalteenoton tyyppi ja tammikuun 2016 lopulla laskettu hyötysuhde (katso luku 4.3.4)

- Koneen yhteydessä olevien lämmitys- ja jäähdytyspattereiden lukumäärä. Esilämmityspattereita ei koneiden yhteydestä löydy.
- Maininta onko kyseessä konttikone
- Energiatehokkuusprofiilit (katso luku 4.3.5) ja arvosanat koneista

4.3.3 SFP-luvut

SFP-luvun eli ominaissähkötehon laskemiseen tarvitaan mitoittava ilmavirta (m^3/s) ja puhaltimien yhteenlasketut sähkötehot (kW). Näiden lähtötietojen selvittäminen osoittautui projektia tehdessä työlääksi, sillä vanhoihin konekortteihin ei ole merkitty kaikkia tarvittavia lähtötietoja. Tilannetta vaikeutti lisäksi laitteiden kuluminen ja järjestelmiin tehdyt muutokset.

Mitoittavan ilmavirran (m^3/s) tarkka määrittäminen osoittautui lähes mahdottomaksi tehtäväksi käytössä olleilla resursseilla. palvelualueet eivät kiinteistössä usein vastaa alkuperäistä lähtökohtaansa ollenkaan vuosien saatossa tehtyjen muutostöiden takia, eikä tietojen löytyminen ollut suunnittelijalta tai arkistosta helppoa. Lisäksi antureiden kalibroinnista ei aina ollut varmuutta. Lopulta järkevimmäksi tavaksi osoittautui sekä konekortin että koneen yhteydestä löytyvien mittausten hyödyntäminen. Mitoittavan ilmavirran tulee olla joko tulo- tai poistoilmavirrasta suurempi arvo, eli vaihtoehtoja oli jokaisen koneen yhteydessä kahdesta ylöspäin. 1-nopeuksisissa koneissa 2, muissa paremmin varustelluissa järjestelmissä enemmän.

Puhaltimien sähkötehojen (kW) määrittäminen tapahtui mittaamalla konehuoneessa taajuusmuuttajan sähkövirta (A) täydellä teholla ja kertomalla se moottorin tarvitsemalla jännitteellä (V). Mikäli kone oli 1-nopeuksinen, käytössä oli konekortin ilmoittama arvo. 2-nopeuksisessa koneessa puolestaan käytettiin konekortissa ilmenevää täysnopeuden arvoa. Uusia EC-moottoreilla varustettuja järjestelmiä kiinteistössä on vielä vähän, joten niiden tiedot ovat peräisin koneiden teknisistä luovutusasiakirjoista. Sähkötehoon käytettiin aina puhaltimen vaatimaa tehontarvetta eikä esimerkiksi moottorin nimellistehoa, joka on näistä kahdesta selvästi suurempi arvo ja aikaansaisi selvästi huonomman SFP-luvun laskuissa.

Kuvassa 16 on esimerkki työssä käytetystä taulukosta SFP-luvun selvittämiseen. Liha-voitu ilmavirta taulukossa osoittaa laskussa hyödynnetyn arvon. Taulukon tapaus on normaalista hieman poikkeava, sillä koneen antureiden ilmoittamat ilmavirran lukemat ovat

lähes kaksinkertaiset konekorttiin nähden. Tiedossa oli kuitenkin jo laskentavaiheessa, että kyseiset puhaltimet on E-osalla uusittu muutama vuosi takaperin, joten laskennassa noudatettiin taulukossa lihavoituja ilmavirtoja. Palvelualueella kanavisto on myös huonosti säädetty ja ilmanvaihdon päätelaitteita availtu, mikä selittäisi osaltaan puhaltimien selvän suunnitellun ilmavirran ylityksen. Oikein säädettyinä ja kuristettuna kanavisto toimisi hallitummin.

Tunnus	Ilmavirta (m ³ /s)				SFP laskut		
	Konekortti		Maksimi		Teho (kW)		SFP luku
	TF	PF	TF	PF	P, tk	P, pk	
E301	3,2	3,2	6	5,4	3,8	3,8	2,38
E302	3,2	3,2	4,6	5,7	3,8	3,8	2,38

Kuva 16. Esimerkki SFP luvun laskentataulukosta. E-osa.

4.3.4 LTO:n hyötysuhde

Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhde on hyödyllinen tieto kuvaamaan ilmanvaihtokoneen LTO-laitteen toimintaa ja tehokkuutta. Tässä työssä lasketut hyötysuhteet ovat enimmäkseen suuntaa näyttäviä arvoja. Työssä ei tarkastella lämmöntalteenoton todellista vuosihyötysuhdetta, joka on huomattavasti matalampi arvo. Painotus on lämmityskauden hetkellisen hyötysuhteen määrittämisessä, hyvin lähellä laitteiden tyypillistä mitoitusilannetta.

Lämpötila-antureiden lukemissa on hieman mittavirhettä. Myös tulo- ja poistoilmamäärät ovat kauppakeskuksessa usein toisistaan poikkeavat alueen erillispoistojen takia. Luonnollisesti mitä suurempi poistoilmamäärän suhde on tuloilmaan, sitä enemmän lämpöenergiaa saadaan siirrettyä tuloilmaan, mikä aikaansaa paremman LTO-hyötysuhteen. Vastaavasti poistoilmamäärän ollessa suhteessa pienempi tuloilman hyötysuhde laskee. Lämmöntalteenoton tarkemman hyötysuhteen laskemiseksi täytyy hyödyntää ilmavirtojen tasauslaskentaa.

Kuvassa 17 on esitetty D-osan ilmastointikoneiden LTO-hyötysuhdelaskelmien taulukko. Laskennan aikana ulkoilman lämpötila oli noin -1 °C. Laskentaa varten koneet ajettiin manuaalisesti täydelle teholle. Lämpötila-arvot ovat peräisin antureiden mittauksista ja todellisesta ulkolämpötilasta Helsingissä. Lämmöntalteenottolaite ajettiin 100 %:n ohjaukselle ja muun muassa glykoli-patterin tapauksessa myös LTO-piirin toiminnan kanalta oleellisen kiertopumpun toiminta varmistettiin ennen tulosten ottamista. Jokainen

mitattu arvo mitattiin vasta 10–15 minuutin viiveen jälkeen, joka varmisti haluttuun käyntitilanteeseen pääsemisen ja rauhallisen lähestymistavan kirjaamiseen. D-osan koneissa on LTO-kiekot.

Tunnus	Ilmamäärä (1/1)		LTO ohjaus 100%				
	m3/s		Lämpötilat (°C)				LTO
	TF	PF	tulo	ulko	poisto	jäte	
D301	6,2	7,3	12,3	-1	19,3	2,2	66 %
D302	4,2	3,7	11,9	-1	20,2	4,4	61 %
D303	11	11,3	13,9	-1	20,7	2,1	69 %
D304	2,9	3,1	14,6	-1	21,4	2,9	70 %

Kuva 17. Esimerkki LTO:n hyötysuhteen laskentaan käytetystä taulukosta. D-osa.

4.3.5 Energiatehokkuusprofiilit

Kauppakeskuksen jokaisesta otannassa olevasta ilmastointikoneesta luotiin energiatehokkuuden arvosana-asteikko pisteytyksellä 0–10. Asteikko auttaa havainnollistamaan eroja kiinteistön hyvinkin erilaisten koneiden välillä. Koneiden absoluuttinen koko ei ole energiatehokkuusprofiileissa merkitsevä tekijä. Sekä pientä että suurta konetta pystytään asteikon avulla vertaamaan helposti toisiinsa. Puhtaan vertailun lisäksi työn tilaaja saa käsiinsä suuntaa näyttävän tutkimuksen koneiden taloudellisesta potentiaalista. Kuvassa 18 näkyy selitykset arvosanoille. Alle 5 saaneet koneet ovat selvästi energiatehokkuudeltaan heikkoja ja edellyttävät korjaustoimenpiteitä. Puolestaan yli 8 saaneet toimivat kuten vuoden 2016 laitoksen kuuluukin.

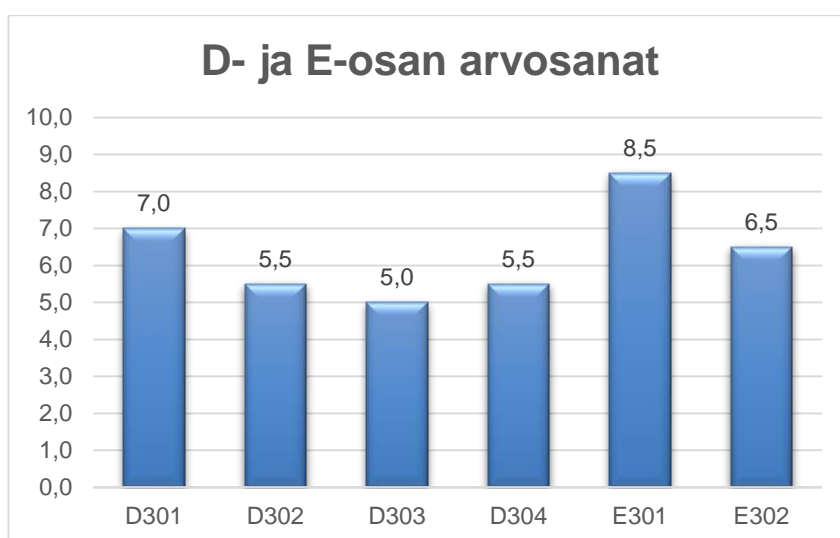
Asteikon selitykset:	
10	Erinomainen
9	Kiitettävä
8	Hyvä
7	Tyydyttävä
6	Kohtalainen
5	Välttävä
4	Heikko
1-3	Erittäin heikko

Kuva 18. Energiatehokkuusprofiilien arvosana-asteikon selitykset.

Energiatehokkuusprofiilien arvosanat muodostuvat neljän eri muuttujan keskiarvoista, jotka ovat SFP-luku, LTO-hyötysuhde, puhallinmoottorin ohjaustapa ja tarpeenmukainen ohjaus. Suurin painotus asteikossa on SFP-luvulla, sillä se on paras yksittäinen sähköenergiankulutuksen mittari. Lämmöntalteenotto on seuraavaksi tärkein, millä on suora

vaikutus rakennuksen lämmitysenergian eli esimerkiksi kaukolämmön kulutukseen. LTO:n pisteytyksessä on huomioitu LTO-typin soveltuvuus palvelualueeseen. Moottorin ohjaustapa ja tarpeenmukaisuus vaikuttavat myös: esimerkiksi EC-moottorilla varustettu, hiilidioksidianturein ohjattava kone saa huomattavasti paremman kokonaisarvosanan kuin 1-nopeuksinen laitos.

Kuvassa 19 esitetään D- ja E-osan energiatehokkuusprofiilien arvosanat. Nämä vuonna 1992 alun perin valmistuneet koneet ovat vielä energiatehokkuudeltaan kohtuullista tasoa. Koneiden puhaltimia on myös uusittu vuonna 2014, mikä on parantanut ominais-sähkötehoa huomattavasti.



Kuva 19. Ilmastointikoneiden energiatehokkuusprofiilit D- ja E-osalta.

4.4 Esimerkkikoneen C301 energiatehokkuuslaskelmat

4.4.1 Lähtötiedot

Keskusilmastointikone TK/PK C301 on otettu käyttöön vuonna 1992 kauppakeskus Itiksen II-vaiheen laajennuksen yhteydessä. Kone on N-ilma Ky:n valmistama ulkosovitteinen ilmakäsittelykeskus, eli tässä tapauksessa vesikatolle asennettu konttikone, malliltaan nivent 700. Palvelualueena sillä on noin pinta-alaltaan noin 6 639 neliömetrin suuruinen liiketila kolmessa kerroksessa.

Konekortin tulo- ja poistokoneen alkuperäiset tekniset tiedot eivät C301:sen tapauksessa pidä enää täysin paikkaansa. Koneen palvelualue on suunniteltu muuttuvailmajärjestelmäiseksi, jossa joustavuus alun perin toteutettiin johtosiipisäädöllä ja kanaviston huonekohtaisilla IMS-säätimillä. Myöhemmin vuosien 2005–2007 rakennusautomaatiosaneerausissa koneiden yhteyteen asennettiin taajuusmuuttajat ja johtosiipisäätö purettiin. Tällöin myös kanaviston IMS-säätimet kytkettiin pois käytöstä. Nykyään C301:n muuttuvailmavirtaisuus kärsii uusien IMS-säätimien puutteesta.

Kiilahiinnavetoisten tulo- ja poistopuhaltimien roottorit ja poistokoneen moottori ovat alkuperäisiä, mutta tulokoneen moottori on vaihdettu sittemmin uuteen. RAU-saneerauksen yhteydessä koneen yhteyteen lisättiin myös lukuisia ohjaukseen vaikuttavia lämpötila- ja paineantureita. Lisäksi kanaviston perällä aikaisemmin sijainnut koneiden tehon ohjaukseen vaikuttava kanavapaineanturi suunniteltiin saneerausissa asennettavaksi konehuoneeseen puhaltimien yhteyteen.

Tässä esimerkkilaskennassa mitoittavana ilmavirtana käytetään keskuskoneen yhteydessä sijaitsevien ilmamäärä- ja kanavapaine-antureiden antamia arvoja. Puhaltimien tehot (kW) on laskettu kertomalla taajuusmuuttajista konehuoneessa mitattu sähkövirta (A) moottorien vaatimalla jännitteellä (V).

Tarvittavat sisä-, ulko- ja puhalluslämpötilat ovat myös peräisin kiinteistöautomaatiosta. Kaikki arvot ja lähtötiedot pohjautuvat siis kiinteistössä vallitsevaan tilanteeseen. Oletuksena on, että laitteet toimivat ja niiden mittaukset pysyvät virhemarginaalin sisällä. Vaikka heittoa olisikin, saa laskuista hyvin todenmukaiset tulokset, sillä laskennan aikana on hyödynnetty vertailumielessä muidenkin koneiden käyntitietoja esim. ulko- ja poistoilman lämpötilan osalta.

Keskuskoneen käyntiaikana on käytetty sen todellista aikaohjelmaa. Kuva 20 on otettu kauppakeskuksen kiinteistöautomaation grafiikalta. Arkisin kone käy välillä 08:00–21:00, lauantaina 08:00 – 18:00 ja sunnuntaina 10:00 – 18:00, eli pitkälti sen palvelualueella olevan liikkeen aukiolojen puitteissa. Pääsääntöisesti kaikki kiinteistön koneet on ohjattu pois päältä yöksi, joten laskelmissa hyödynnetään todellisia aikoja.

Aikaohjelma 1		Kopioi/Liitä		Kohde: C301TK s/k			
MAANANTAI	TIISTAI	KESKIVIIKKO	TORSTAI	PERJANTAI	LAUANTAI	SUNNUNTAI	
08,00 21,00	08,00 21,00	08,00 21,00	08,00 21,00	08,00 21,00	08,00 18,00	10,00 18,00	
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	
00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	00,00 00,00	

Kuva 20. Esimerkkikoneen C301 aikaohjelma.

Liitteessä 2 on kuvankaappauksia kiinteistöautomaation grafiikalta, havainnointihetkeltä 22.2.2016 klo 15:01. Koneen konekortti on liitteessä 3 ja säätökaavio liitteessä 4. Kiinteistön sähkön ja kaukolämmön hintatiedot on saatu kauppakeskuksen tekniseltä isännöinniltä.

4.4.2 Puhaltimien sähkönkulutus

Ilmastointikoneen C301 sähkönkulutuksen määrittäminen aloitettiin ominaissähkötöhon laskemisella kahdella eri puhaltimien käyntiteholla. Täydellä teholla (TK 49Hz, PK 32 Hz) taajuusmuuttajien avulla saatiin tulo- ja poistopuhaltimien yhteenlasketuksi sähkötöhoiksi 58,8 kW, jolloin mitoittava ilmavirta (poisto) oli 13,3 m³/s. Vastaavasti 50 %:n ohjauksella (TK/PK 25 Hz) sähkötöho oli 25,1 kW ja mitoittava ilmavirta (poisto) 6,5 m³/s. SFP-luvuksi saatiin lopulta 100 %:n käyntiteholla 4,3 ja 50 %:n ohjauksella 3,9.

C301:sen aikaohjelman yhteenlasketut käyntitunnit ovat 83 viikossa. Käyntituntien, SFP-luvun ja mitoittavan ilmavirran avulla laskettiin kummallekin käyntiteholle sähköenergian kulutus (kWh). Ajanjaksoina käytettiin viikkoa, kuukautta ja puolta vuotta. Vuoden mitausta jaksoa ei laskettu, sillä kyseessä ei ole vakionopeudella käyvä 1-nopeusohjaus. Laskelmissa sähkön hinta on 8 senttiä/kWh, eli pyöristetty kauppakeskus Itiksen sähkön kokonaishinta vuonna 2015.

Kuvassa 21 näkyy laskelmien tuloksia. Kuukausitasolla tehojen pudottaminen täydestä puolikkaaseen säästäisi puhallinsähköä 5 515 kWh eli 441,2 euroa. Puolen vuoden tasolla rahallinen säästö olisi 2 647,2 euroa. Puhallinsähkön lisäksi ilmastoinnin lämmitys- ja jäähdytysenergiankulut vähenisivät ilmavirran vähentyessä huomattavasti.

Puhallinsähkön kulutus:		Koneen ohjaus			
Ajanjakso	Käynti (h)	100 %		50 %	
		Kulutus (KWh)	Hinta (eur)	Kulutus (KWh)	Hinta (eur)
Viikko	83	3460,4	276,8	2081,6	166,5
Kuukausi	332	13841,6	1107,3	8326,6	666,1
6 kk	1992	83049,3	6643,9	49959,4	3996,7

Kuva 21. C301:n puhallinsähkön kulutus ja hinta.

4.4.3 Tuloilman lämmitysenergiantarve

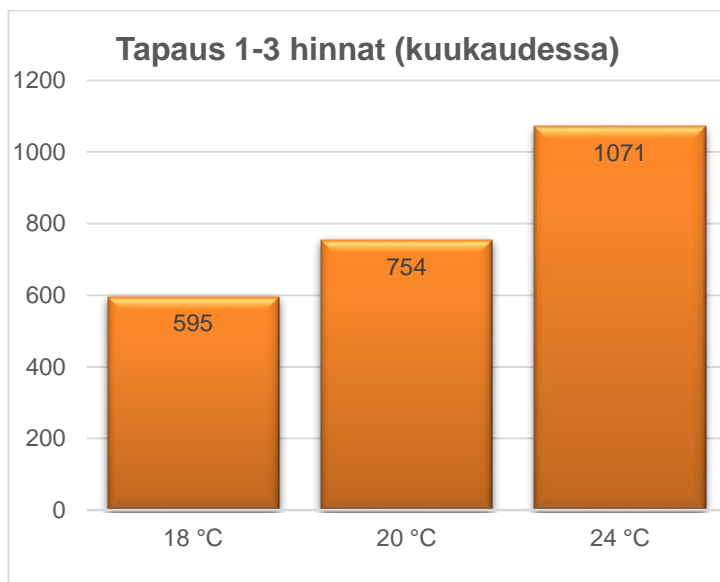
Tuloilman käsittely vaatii lämmityskaudella LTO-laitteen lisäksi lisälämmitystä. Jokaisen ilmaskäsittelykoneen yhteyteen rakennetaan poikkeuksetta vesikiertoinen lämmityspatterilaitteiden jäätyksen estämiseksi. Kiinteistöautomaation vääränlaiset säätöarvot ja käyttäjän virheet voivat helposti nostaa kiinteistön lämmitysenergiankulutusta etenkin kausina jolloin ulkolämpötila on 0 °C:n yläpuolella ja LTO:lla saadaan paljon energiaa talteen.

Kuvan 22 taulukoissa on kuvattu kolmea eri laskentatapausta. Lähtötiedoissa LTO:n jälkeisenä tuloilman lämpötilana on 10 °C ja tuloilman eli sisäänpuhallusilman asetuksena 18, 20 ja 24 °C. Nämä lämpötila-arvot ovat mahdollisia saavuttaa C301:sella. Laskuissa selvitetään LTO:n jälkeisen lämpötilan nousun vaatima energiantarve ja aiheuttamat kustannukset ilmavirralla 9,6 m³/s. Kaukolämmön hintana käytetään Itäisen vuoden 2015 maksamaa keskihintaa 4,2 senttiä/kWh.

TAPAUK 1: SISÄÄNPUHALLUS 18, LTO 10 °C				TAPAUK 2: SISÄÄNPUHALLUS 20, LTO 10 °C				TAPAUK 3: SISÄÄNPUHALLUS 24, LTO 10 °C			
Lämmitysenergiantarve - 9,6 m ³ /s				Lämmitysenergiantarve - 9,6 m ³ /s				Lämmitysenergiantarve - 9,6 m ³ /s			
td	0,49404762			td	0,49404762			td	0,49404762		
tv	1,00			tv	1,00			tv	1,00		
pi	1,2			pi	1,2			pi	1,2		
cpi	1000			cpi	1000			cpi	1000		
qv tulo	9,6			qv tulo	9,6			qv tulo	9,6		
Tsp	18			Tsp	20			Tsp	24		
Tpuhallin	0,5			Tpuhallin	0,5			Tpuhallin	0,5		
Tlto	10			Tlto	10			Tlto	10		
t	1,00			t	1,00			t	1,00		
kerroin	1000			kerroin	1000			kerroin	1000		
		Hinta (eur)				Hinta (eur)				Hinta (eur)	
Qiv, tunti	42,7 kWh	1,79		Qiv, tunti	54,1 kWh	2,27		Qiv, tunti	76,8 kWh	3,23	
Qiv, arkipv	554,9 kWh	23,31		Qiv, arkipv	702,9 kWh	29,52		Qiv, arkipv	998,8 kWh	41,95	
Qiv, viikko	3542,9 kWh	148,80		Qiv, viikko	4487,7 kWh	188,48		Qiv, viikko	6377,2 kWh	267,84	
Qiv, kuukausi	14171,6571 kWh	595,21		Qiv, kuukausi	17950,7657 kWh	753,93		Qiv, kuukausi	25508,9829 kWh	1071,38	

Kuva 22. Lämmitysenergiantarpeen laskujen tapaukset 1-3.

Sisäänpuhallusilman lämpötilan asetusarvon muutos 18 °C -> 24 °C nostaa koneen lämmitysenergian kustannuksia noin 80 % tässä tapauksessa. Kauppakeskus Itiksen vuoden 2015 kaukolämmön keskihinnalla 4,2 senttiä/kWh tämä merkitsee 476 euron korotusta, kuten kuvan 23 pylväsdiagrammissa esitetään:



Kuva 23. Tapausten 1–3 hintavertailu kuukauden tarkastelujaksolla.

Mitä korkeampi LTO-laitteen jälkeisen ilman lämpötila on, sitä enemmän tuloilman asetusarvon nostaminen vaikuttaa prosentuaalisesti lämmitysenergian kulutukseen. Asiaa korostaa vielä tilanne väli- ja jäähdytyskausina, jolloin IV-lämmitysverkoston menolämpötila laskee lämmönjakokeskuksessa ulkolämpötilan noustessa. Mitä alhaisempi lämpötilaero lämmityspatterin menovedellä on puhallusilmaan verrattuna, sitä suurempia vesimääriä joudutaan tuomaan patterille. Asetusarvoa ei välttämättä saavuteta ollenkaan.

Kuvan 24 taulukoissa on esitetty laskentatapaukset 1–3, 4–6 ja 7–9. Kuten huomataan, ei lämmitysenergian kulutuksessa ole merkittävää prosentuaalista nousua enää ilman ollessa 0 °C LTO-laitteen jälkeen. Tuloilman lämmittäminen 24 °C:seen ei kuitenkaan kannata talvellaan, ellei siihen ole hyviä perusteita. Tuloilman on hyvä olla alilämpöistä sekoittavassa ilmanjaossa. Yleisesti ottaen ilmanvaihdon tasapainotila ja huonelämpötilan ylläpitoon riittävä puhalluslämpötila ovat oikeanlainen lähestymistapa. Tilojen varsinainen lämmitys tulisi hoitaa pattereilla, kiertoilmakoneilla ja lämpökuormia hyödyntäen – ei yksinomaan ilmanvaihdolla.

Tapaus 1-3 täysiteholla: LTO 10 °C

Asetus, sp	Hinta, kk €	Muutos
18 °C	595	-
20 °C	754	27 %
24 °C	1071	80 %

Tapaus 4-6 täysiteholla: LTO 5 °C

Asetus, sp	Hinta, kk €	Muutos
18 °C	992	
20 °C	1151	16 %
24 °C	1468	48 %

Tapaus 7-9 täysiteholla: LTO 0 °C

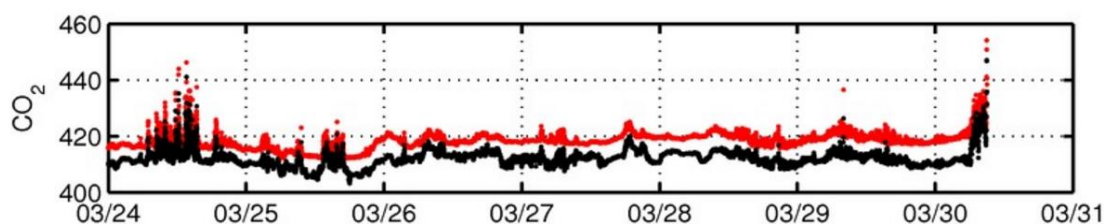
Asetus, sp	Hinta, kk €	Muutos
18 °C	1389	
20 °C	1548	11 %
24 °C	1865	34 %

Kuva 24. Lämmitysenergian kulutuksen vertailua eri tapausten välillä.

4.4.4 Tarpeenmukainen hiilidioksidiohjaus

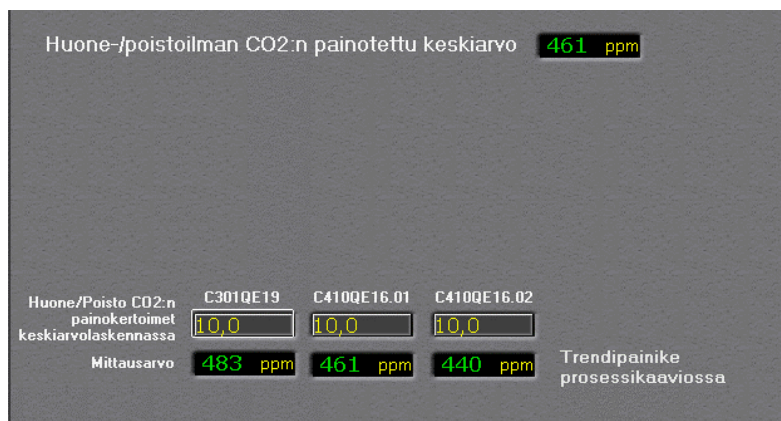
Rakentamismääräyskokoelma D3 mukaan liikekiinteistön ulkoilmavirran vähimmäisarvoksi on asetettu $2 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$ [9]. C301:n palvelualueen liiketilan pinta-ala on 6639 m^2 , joten mitoittavaksi ilmamääräksi koneelle saadaan $13,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Energian säästämiseksi konetta olisi tarkoitus ohjata pienemmillä tehoilla lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden mittauksiin perustuvien käyrästöjen avulla. Koneen ei siis pääsääntöisesti tarvitse käydä tasaisesti täydellä teholla – se voi saavuttaa tavoitellut sisäilmaolosuhteet jo alemmillakin asetuksilla. Tässä osiossa keskitytään nimenomaan CO_2 -ohjaukseen. Laskuissa oletuksena on sisäilman lämpötilan pysyminen haluttuna.

Kuvassa 25 näkyy Helsingissä sijaitsevan Sokos Hotelli Tornissa sijaitsevan SMEAR III-mittausaseman tilastoja hiilidioksidipitoisuudesta maaliskuun 2016 loppupuolelta [20]. Hiilidioksidipitoisuuden keskiarvoksi Helsingissä voidaan tämän perusteella todeta noin 420 ppm.



Kuva 25. Hiilidioksidipitoisuus ulkoilmassa. Mitattu Helsingissä maaliskuun 2016 lopulla. [20]

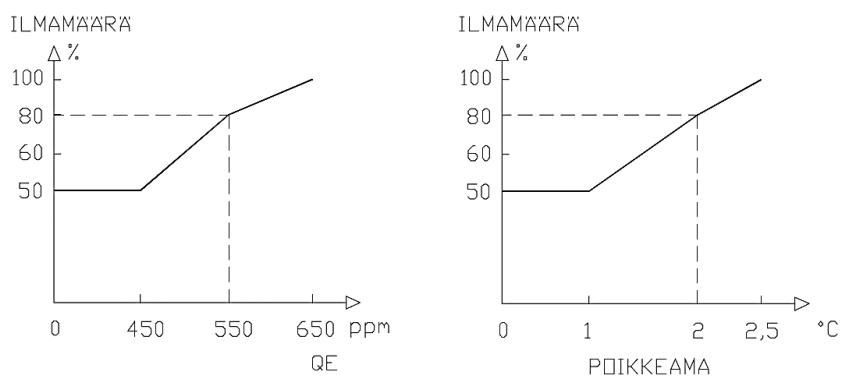
Ulkoilman eli raitisilman CO_2 -pitoisuuden arvoa 420 ppm käytetään seuraavissa laskuissa lähtötietona. Kuvassa 26 näkyy mittaukset oleskeluvyöhykkeeltä ja poistoilmakanavasta 3.3.2016 klo 15. Jo tässä kohtaa voidaan todeta, että CO_2 -pitoisuudet liiketilassa ovat hyvin alhaiset iltapäivällä ja täyttävät sisäilmastoluokan S1 lukeman 750 ppm heittämällä. Mittaushetkellä C301:n tulo- ja poistopuhallin kävivät täydellä teholla.



Kuva 26. C301:n hiilidioksidimittaukset (CO₂) mittausajankohtana 3.3.2016, klo 15.

Koneen tarpeenmukaista ohjausta varten on suunniteltu kuvan 27 mukaiset säätökäyrät. Poisto- ja huoneilman hiilidioksidipitoisuuden painotettuun keskiarvoon perustuva säätökäyrä on aseteltu välille 450 – 650 ppm. Puolestaan lämpötilaero-ohjauksessa 1 °C:n nousu asetusravoon (yleensä 21 °C) sallitaan, mutta sen ylittävät lukemat 2,5 °C:seen saakka nostavat ilmamäärän tarvetta.

Ohjauksista vain jompikumpi, eli ilmamääräohjauksestaan suurempi arvo on käytössä kerrallaan. Yleisesti ottaen kuitenkin CO₂-ohjaus on suuremmassa roolissa. Lämpötila-ohjaus korostuu lähinnä jäähdytyskautena, jolloin huone- ja poistoilman lämpötilat pääsevät nousemaan halutun yläpuolelle. Puhaltimia ohjataan tehovälillä 50–100 %.



Kuva 27. Ilmamäärän säätökäyrät. Vasemmalla CO₂-ohjaus, oikealla lämpötilaero-ohjaus.

Aikaisempia lähtötietoja on hyödynnetty seuraavissa kuvan 28 laskelmissa:

CO2 LASKELMAT:		
Liikkeen pinta-ala:		
6639	m ²	
D3, ohjearvo liikerak. iv: 2 dm³/s, m²		
13,3	m ³ /s	
D3, henkilötiheys liikerakennuksessa:		
1/43	henk/m ²	
eli:		
154	asiakasta	
Mittaukset 3.3.2016 klo 15:		
Poisto	483	ppm
Huone ka	450,5	ppm
Poistokerroin	1,07	
GCO2	6,7	cm ³ /s
Hiilidioksidipitoisuus (ppm):		
Cpoisto,max	450	piste 1
Cpoisto,keski	550	piste 2
Cpoisto,min	650	piste 3
Cpoisto	750	S1
Cpoisto	900	S2
Cpoisto	1200	S3

Kuva 28. C301, CO₂-laskut, osa 1: taustalaskelmat ja tapausten hiilidioksidipitoisuudet.

Kuten laskuista huomataan, jokainen hiilidioksidipitoisuuden arvo koneen CO₂-ohjauksen säätöikäyrässä alittaa selvästi sisäilmastoluokan S1 vaatimukset. Seuraavaksi kuvan 29 taulukossa selvitetään teoreettinen palvelualueelle tuotavan ilmamäärän tarve kullakin CO₂-arvolla:

Ctulo, HKI	420	ppm
Ilmavirta (m³/s)		
Tapaus	per asiakas	154 asiakasta
qtulo, max	0,208	32,2
qtulo, keski	0,048	7,4
qtulo, min	0,027	4,2
qtulo, S1	0,019	2,9
qtulo, S2	0,013	2,0
qtulo, S3	0,008	1,2

Kuva 29. C301, CO₂-laskut, osa 2: teoreettinen ilmavirran tarve jokaiselle tapaukselle.

Laskuissa liiketilassa olevien ihmisten määrä on mitoituksen mukainen eli 154. Taulukossa lihavoidut arvot ovat koneen alkuperäisen säätökäyrän vaatima vähimmäisarvo 450 ppm ja sisäilmastoluokan S1 vaatimus 750 ppm. Tulos on teoreettinen. Lisäksi oletuksena on sekoittuva ilmanvaihto ja tasapainotila palveluvyöhykkeellä. Tuloksesta voidaan kuitenkin päätellä, että säätökäyrän alimpaan arvoon 450 ppm ei ole mahdollista päästä 154 ihmisen ollessa tilassa. S1:n sisäilmastavoitteen ylläpitävä arvo puolestaan vastaa lähelle koneen puolitehon tuottamaa ilmavirtaa. Jokainen taulukon tuloksista kattaa määräykset hiilidioksidipitoisuuden osalta.

CO₂-arvojen rajoina ilmamäärien säätökäyrissä voisi käyttää apuna sisäilmastoluokkia. Sisäilmastoluokka S2 eli 900 ppm voisi esimerkiksi toimia täysitehon rajana ja S1 eli 750 ppm 80 % rajana. Asiaa voi tietysti käsitellä kone- ja tapauskohtaisesti tarkemmin. Lämpötila-arvoina voisi vastaavasti noudattaa sisäilmastoluokkien ohjeistusta ja sallia suuremman muutoksen sisäilman lämpötilassa.

4.4.5 Pohdintaa

C301:sen tarpeenmukainen ohjaus tulisi säätää siten, että sisäilmasto-olosuhteet pysyvät hallinnassa, mutta tulo- ja poistopuhaltimet käyvät mahdollisimman pienellä teholla. Palvelualueen ylituulettaminen ei ole energiataloudellisesti järkevää. Koneet voidaan asettaa käyntitehon välille 30–100 % (taajuusmuuttajilla yleensä 15 – 50 Hz), mutta alimaksi tehoksi ei kannata asettaa enempää kuin 50 % (taajuusmuuttajilla yleensä 25 Hz) elleivät puhaltimet ole palvelualueen tarpeisiin nähden selvästi alitehoisia. EC-puhaltimien kanssa on hyvä huomioida, että niiden hyötysuhde on parempi osateholla ajattaessa.

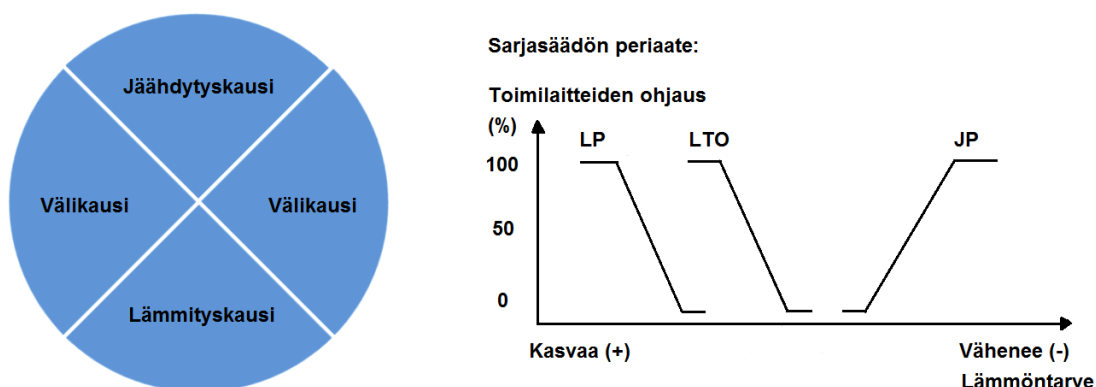
Ilmanvaihdon tulisi käynnistyä kauppakeskusolosuhteissa viimeistään liiketilojen avaamisen aikaan. Työntekijät tulevat usein jo aikaisemmin töihin. C301:n kokoisen koneen tapauksessa tulisi harkita tarvitaanko koneita käyntiin vain muutaman työntekijän tähden. Liiketiloissa tapahtuva painovoimainen vuotoilmanvaihto ja alueen ympäri vuorokauden käyvät erillispoistot takaavat varmasti riittävät olosuhteet aukioloajan ulkopuolella. Yötuuletus ja käyntiaikojen pidentäminen tulisi toteuttaa minimiteholla ja ainoastaan lämmitys- tai jäähdytyskausina, jolloin tilat voivat päästä hallitsemattomasti jäähtymään tai lämpenemään. Ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmavirtojen tasapaino tulee saavuttaa.

Ilmastoinnin tuloilman lämpötilan asetusarvojen säätö on tyypillinen ongelmien aiheuttaja. Kuten työssä aiemmin todetaan, voi pienikin ajattelematon muutos aiheuttaa prosentuaalisesti suurta lämmitys- tai jäähdytysenergian kulutuksen nousua. Koska ilmanvaihtojärjestelmät kattavat kiinteistön energiankulutuksesta jopa puolet tai enemmän, tulisi näiden asioiden kanssa olla tarkkana.

4.5 Ilmastoinnin vuosikello ja projektin johtopäätöksiä

Insinööriyön projektiosiossa aiemmin käsitellyt asiat liittyvät kaikki ilmanvaihdon ja ilmastoinnin energiatehokkuuteen. Eri vuodenaikojen vaikutukset järjestelmiin pitäisi huomioida aina Suomen olosuhteissa. Säätojen oikeanlaisuus on tärkeää. Laitteita ei tulisi täysin jättää oman onnensa varaan vaikka niitä yleensä ohjataan kiinteistöautomaation avulla ympäri vuoden. Toisaalta myös tietämätön käyttäjä voi sekoittaa järjestelmät pienilläkin asetusarvojen muutoksilla. Huolellisesti tehdyt huollot ja säännöllinen tarkkailu auttavat aina ylläpidossa ja ovat ehdottoman tärkeitä.

Kuvan 30 ympyrädiagrammissa on esitetty ilmastoinnin vuosikello periaatetasolla. Jokainen lohko vastaa löyhästi jokaista vuodenaikaa eli noin 3 kuukauden jaksoa vuodesta. Vieressä näkyy ilmastoinnin sarjasäädön periaate jota voidaan verrata ympyrädiagrammiin. Ajatuksena on, että lämmitys- ja jäähdytystoimintoja ei käytetä, silloin kun niitä ei tarvita. Kiinteistöautomaation ja käyttäjän virheet tai laitteiden rikkoutuminen konehuoneissa voi muuttaa järjestelmien toiminnan vastoin sarjasäädön periaatetta, jolloin hukataan turhaan energiaa.



Kuva 30. Havainnollistava ilmastoinnin vuosikello ja sarjasäädön periaate.

Välikausina, etenkin syksyllä ja keväällä tulisi aina pyrkiä mahdollisimman lähelle 0-energiatilannetta. Tällöin ei tarvita lämmitystä eikä jäähdytystä. Sisäänpuhallusilman lämpötilaa hallitaan tällöin vain lämmöntalteenottoa ohjaamalla. Ihanteellinen tilanne on noin 15 °C:n ulkolämpötilalla, jolloin ei tarvita välttämättä käyttää edes LTO-laitetta. 0-energiatilanteeseen pääseminen vaatii konekohtaisesti hyvin optimoituja säätöjä. Pelkästään asetusarvon ylä- ja alarajojen muuttaminen ei yleensä riitä takaamaan riittävää joustavuutta ja saattaa johtaa liian korkeaan tai liian alhaiseen tuloilman lämpötilaan. Ilmastoinnin tarpeenmukaisuus, käyntiajat, laitteiden säädöt konehuoneissa, kaskadisäädön käyrästäön toimivuus ja palvelualueen tilanne kaikki merkitsevät.

Luonnollisesti lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien tulisi myös aina toimia ilmastointia tukevasti. Patterit ja laitteet keskusilmastointikoneiden yhteydessä on mitoitettu toimimaan tietyillä lämpötila-arvoilla. Mitoituslämpötiloissa, eli pakkasella tai helteellä on ensisijaisen tärkeää tarkkailla oheisjärjestelmien toimintaa. Esimerkiksi talvella IV-lämmitysverkoston ajaminen turhan alhaisilla lämpötiloilla siirtää ongelmat ensiöpuolelta toisiopuolelle eikä välttämättä tuota haluttua hyötyä energiansäästön näkökulmasta.

C301:n kokoinen ilmapuhalluslaitos voisi säästää vuositasolla laskujen perusteella jo useita tuhansia euroja pelkkää puhallinsähköä. Siihen päälle kun lisätään lämmitys-, jäähdytys- ja oheisjärjestelmistä aikaansaadut säästöt, voidaan puhua vuositasolla jo kymmenien tuhansien eurojen säästöistä. Ottaen huomioon että kauppakeskuksessa on vastaavanlaisia koneita kymmeniä, alkaa kiinteistön talotekniikan säästöpotentiaali olemaan jo huomattava. Täytyy kuitenkin muistaa, että olosuhteiden tulisi aina tulla ensin eikä järjestelmien toiminnasta voi säästää pelkästään rahallista hyötyä tavoitellen.

5 Yhteenveto

Tämän insinööriyön päämääränä oli luoda selvitystyö kauppakeskuksen ilmastoinnin energiatehokkuudesta ja malli sen parantamiseen tarvittavista keinoista. Työn tilaajan Wereldhave Finland Oy:n kannalta oli samalla oleellista kerätä tärkeimpiä energiatehokkuuteen liittyviä tietoja kiinteistön keskusilmastointikoneista ja koota niistä käyttökelpoinen dokumentti myöhempää käyttöä varten.

Heti työtä aloittaessa kävi selväksi, että puhaltimien ominaissähkötehon eli SFP-luvun ja lämmöntalteenoton tutkiminen tulisivat olemaan työssä tärkeässä roolissa. Myöhemmin asiaan syvennyessä koneiden tarpeenmukainen ohjaus ja tuloilman teoreettinen lämmitysenergiantarve tulivat kuvioon mukaan. Kokonaisuus näiden asioiden välillä on tärkeä ymmärtää, mikäli haluaa päästä ilmastoinnin energiatehokkuuteen syvällisemmin sisälle. Jokaisen aihekokonaisuuden taustalla on useita muuttujia – vaihdellen teknisistä ominaisuuksista käyttötapoihin ja fyysisiin ilmiöihin.

Insinööriyöhön varatusta työskentelyjaksosta merkittävä osa kului tietojen etsintään. Tilaajalle, Wereldhave Finland Oy:lle toimitettu ilmastoinnin koontitaulukko sisältää lopullisessa muodossaan 78 koneen energiatekniset tiedot. Taulukko ei ole täydellinen, sillä siitä jouduttiin rajata muutama vanhempi kone pois. Koontitaulukkoon oli alun perin tarkoitus sisällyttää myös jokaisen koneen palvelualueen eli kanaviston suunnitellut ilmavirrat ja mahdollisesti kanaviston paine-ero. Aikaa ja resursseja niiden selvittämiseen olisi erinäisistä syistä tarvittu huomattavasti enemmän. Tilanne on kuitenkin varsin tyyppillinen, sillä kiinteistöjen tietojen dokumentoinnin puutteellisuus ei ole uutta etenään vanhoissa rakennuksissa. Puhaltimien tarvittava paineenkorotus ja tarkka ilmamäärän tarve ovat joka tapauksessa oleellisia lähtötietoja saneerauksissa.

Tilaajalle luotiin insinööriyötä ja dokumentointia tehdessä myös saneerauksiin hyödyllinen ilmastointikoneiden energiatehokkuusprofiilien arvosana-asteikko. SFP-luvun ja LTO-laitteen hyödyn lisäksi asteikossa kiinnitettiin huomiota ohjaustapaan ja tarpeenmukaisuuteen. Tällaista arvosana-asteikkoa ei käytetä yleensä talotekniikan toimijoiden parissa, mutta taloteknisen kokonaisuuden hahmottaminen järjestelmiä tarkastellessa voi olla itse kullekin haasteellista pelkästään teknisiä lähtötietoja katsoessa. Energiatehokkuusprofiilien arvosanojen avulla pystytään vertaamaan ilmastointikoneita keskenään tasavertaisina, ottamatta huomioon koneiden kokoja ja absoluuttisia energiankulutuksen

arvoja. Koneiden koot ovat joka tapauksessa helppo laittaa suuruusjärjestykseen paperilla, mutta välttämättä ei energiatehokkuutta, joka ei ole itseisarvo. Wereldhave pyrkii tasaiseen investointitahtiin kauppakeskus itiksessä. Ilmastointikoneiden energiatehokkuusprofiilit ja arvosana-asteikot auttavat jatkossa etenkin ilmastointikoneiden saneerauksen suunnittelussa.

Lisäksi tätä insinööriötä hyödyntäen on mahdollista laatia kauppakeskuksen tekniselle huollolle ohjeistusta talotekniikan ja ilmastoinnin energiatehokkaaseen ohjaukseen.

Kauppakeskuksen olosuhteita on tarkasteltu työn monessa osiossa. Kiinteistön tyyppi ei ole kovin tutkittu esimerkiksi asuinkiinteistöihin verrattuna, eikä sille ole varsinaisesti omaa kategoriaa rakentamismääräyksissä tai alan ohjeistuksissa. Ilmanvaihdon tasapainotilanne on kuitenkin kauppakeskuksissakin tärkeä hallitsemattomien vuotoilmavirtojen pitämiseen kurissa. Muuttuvailmavirtaisissa järjestelmissä on paljon toisiinsa vaikuttavia asioita ja erillisjärjestelmien kuten puhallinkonvektoreiden lisääminen kuvioon mukaan sekoittaa pakkaa entisestään.

Insinööriyöhön ei tullut lopulta omaa kappalettaan korjaus- ja muutostöiden vaikutuksille ilmastoinnin energiatehokkuuteen. Aihepiiri on monipuolinen ja erittäin tapauskohtainen. Huonosti valvottu, suunniteltu tai toteutettu urakka saattaa sekoittaa aikaisemmin täysin toimintakuntoisetkin talotekniset järjestelmät. On siis hyvin tärkeä pitää huoli urakan osapuolten välisen kommunikoinnin onnistumisesta ja asianmukaisesta suunnittelusta. Töiden takuut eivät usein riitä kattamaan järjestelmien kokonaisuuksien korjausta, jolloin ajaututaan tilanteeseen jossa vaaditaan kalliiden lisätöiden tilaamista.. Pahimmillaan projektin virheet vaativatkin työn tai jonkin sen osa-alueen aloittamista täysin uudelleen, eli asiaa jota tuskin rahallisista syistä ikinä toteutuu.

Rahallisesti energiatehokkuuden parantaminen kannattaa aina. Oheistuotteena olosuhteetkin kehittyvät järjestelmien toimintojen tehostuessa. Ympäristöluokitukset kuten BREEAM korottavat myös kiinteistön arvoa. BREEAM-luokitus myönnettiin vuonna 2015 Kauppakeskus Itikselle 5 % vuosittaisen energiansäästön ansiosta. Sähköenergiassa säästö on Itiksen kokoisessa rakennuksessa noin 1,4 gigawattituntia eli reilusti yli sadan keskimääräisen omakotitalon vuosikulutuksen verran [21]. BREEAM-luokitukseen ei ole ikuinen, vaan se on ansaittava uudelleen joka kolmas vuosi. Tämä kuvastaa energiatehokkuuden tehostamiseen vaaditun haastavan ja pitkäjänteisen toiminnan tärkeyttä.

Lähteet

- 1 Energiansäästö ja energiatehokkuus. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas.fi. <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/75ef09a7-01a2-489a-862e-0dce463a8e1c> . Luettu 9.2.2016.
- 2 Rakennuksen energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennuksen_energiatehokkuutta_koskeva_lainsaadanto . Julkaistu 18.9.2013. Päivitetty 31.7.2015. Luettu 9.2.2016.
- 3 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 4 Säteri, Jorma. 1998. Käytännön ilmanvaihto: opas ilmanvaihdon oikeaan käyttöön ja kunnostukseen. Suomen LVI-liitto.
- 5 Verkkoaineisto. http://images.slideplayer.biz/7/1933869/slides/slide_17.jpg . Luettu 23.3.2016.
- 6 Seppänen Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 7 Seppänen Olli ja Seppänen Matti. 2004. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä: SIY Sisäilmatieto Oy.
- 8 Muuttuvan ilmapirran säätimet. Verkkoaineisto. Teknocalor. <http://www.teknocalor.fi/fi/iv-tuotteet/tuotteet/ilmapirranhallinta-ja-saato/muuttuvan-ilmapirran-saatimet> . Luettu 11.2.2016
- 9 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 10 SISÄILMASTOLUOKITUS 2008. 2009. LVI 05-10440. Helsinki: Rakennustieto Oy. Korjattu versio.
- 11 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeenlaskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 12 Puhaltimen vaihto, opas ilmapuhaltuskoneen puhaltimen vaihtoon. 2015. Fläkt Woods.
- 13 SFP opas. Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen. 2009. LVI-talotekniikkateollisuus ry.

- 14 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. 2003. Ympäristöministeriön moniste 122. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 15 Rakennusautomaatiopas. Rakennusautomaatiopas. Verkkoaineisto. BAFF, Suomen Automaatioseura ry. <http://www.automaatioseura.fi/index/toiminta.php?id=1004&sivu=d8bf6c97> . Luettu 10.2.2016.
- 16 Pirhonen, Tero. 2011. Kiinteistöautomaation peruselementit ja – toiminnot sekä kiinteistöautomaatioprojektin toteutus. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 17 Kauppakeskus Itis. 2016. Verkkoaineisto. Wikipedia. [https://fi.wikipedia.org/wiki/Itis_\(kauppakeskus\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Itis_(kauppakeskus)) . Päivitetty 17.2.2016. Luettu 18.2.2016.
- 18 Kauppakeskus Itis jo 30 vuotias. 2014. Verkkoaineisto. Kauppa.fi. Kaupan liitto. http://kauppa.fi/ajankohtaista/uutiset/kauppakeskus_itis_jo_30_vuotias_24400 . Julkaistu 19.9.2014. Luettu 18.2.2016.
- 19 Energiakatselmusraportti, kauppakeskus Itäkeskus. 2011. Helsinki: Granlund.
- 20 Urban Smear EddyCPC. Verkkoaineisto. http://www.helsinki.fi/~ppaalto/work/atmospheric/Helsinki_eddycpc.html . Luettu 31.3.2016.
- 21 Verkkoaineisto. myNewsDesk. <http://www.mynewsdesk.com/fi/pressreleases/itikselle-myoennettiin-kiinteistoejen-breeam-ympaeristoeluokitus-1208664>. Julkaistu 28.8.2015. Luettu 12.4.2016.
- 22 Clear Air Control esite. Verkkoaineisto. Swegon Oy. http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/WISE/_fi/CAC.pdf . Luettu 15.4.2016.
- 23 Railio Jorma. 2014. LVI-laitteiden määräykset ja luokitukset. Verkkoaineisto.. <http://docplayer.fi/917505-Lvi-laitteiden-maaraykset-ja-luokitukset-jorma-railio-18-9-2014-ekvu-sulvi-seminaari-jorma-railio-gmail-com.html>. Julkaistu 18.9.2014. Luettu 19.4.2016.
- 24 Tietopaketti IV-koneiden ekosuunnitteluvaatimuksesta. 2016. Verkkoaineisto. Koja Oy. <http://www.koja.fi/uploads/images/pdf/Tietopaketti%20ekosuunnitteluvaatimuksista.pdf>. Luettu 19.4.2016.

Rakennuksen ilmanvuotoluvut ja alttius tuulelle

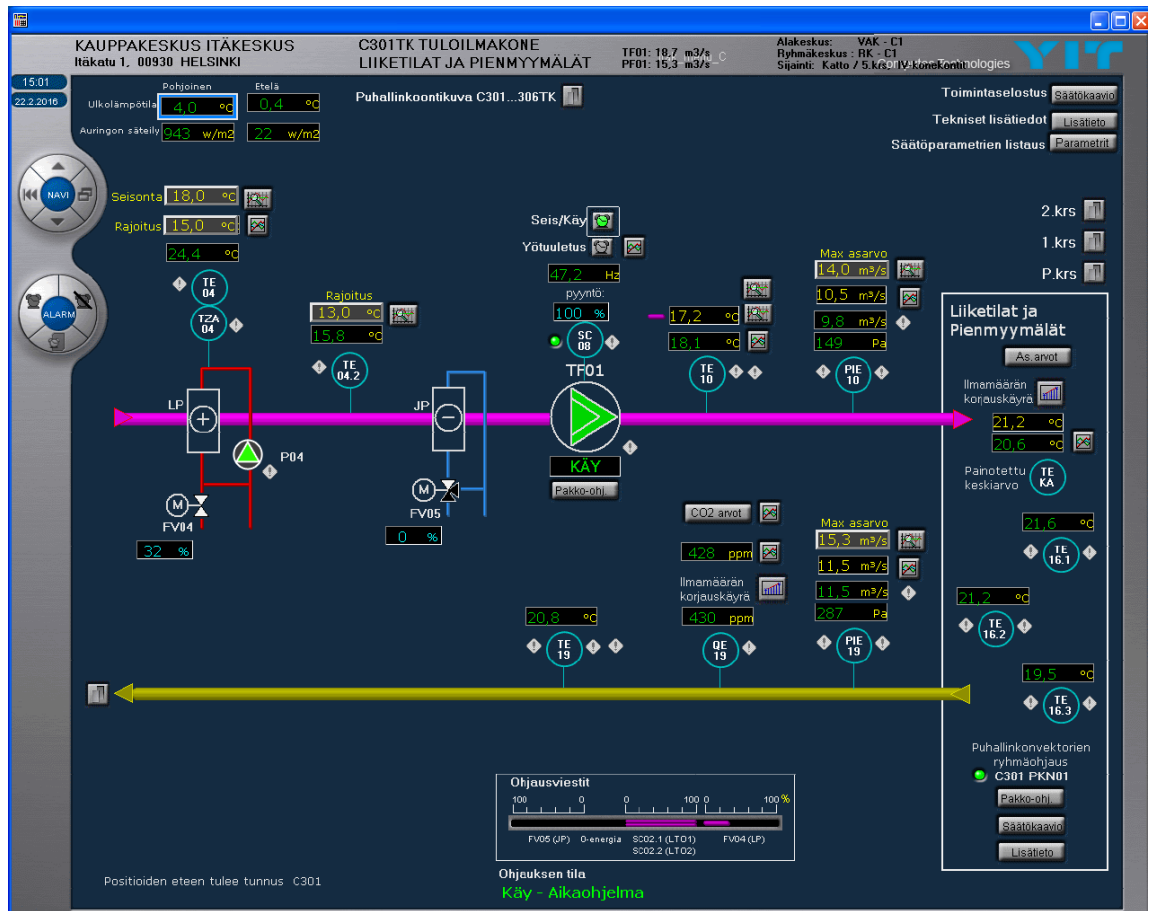
Taulukko 3.5. Tyypillisiä rakennuksen ilmanvuotolukuja (n_{50}) ja rakennusvaipan ilmanvuotolukuja (q_{50}) erilaisille rakennuksille riippuen rakentamis- ja toteutustavasta.

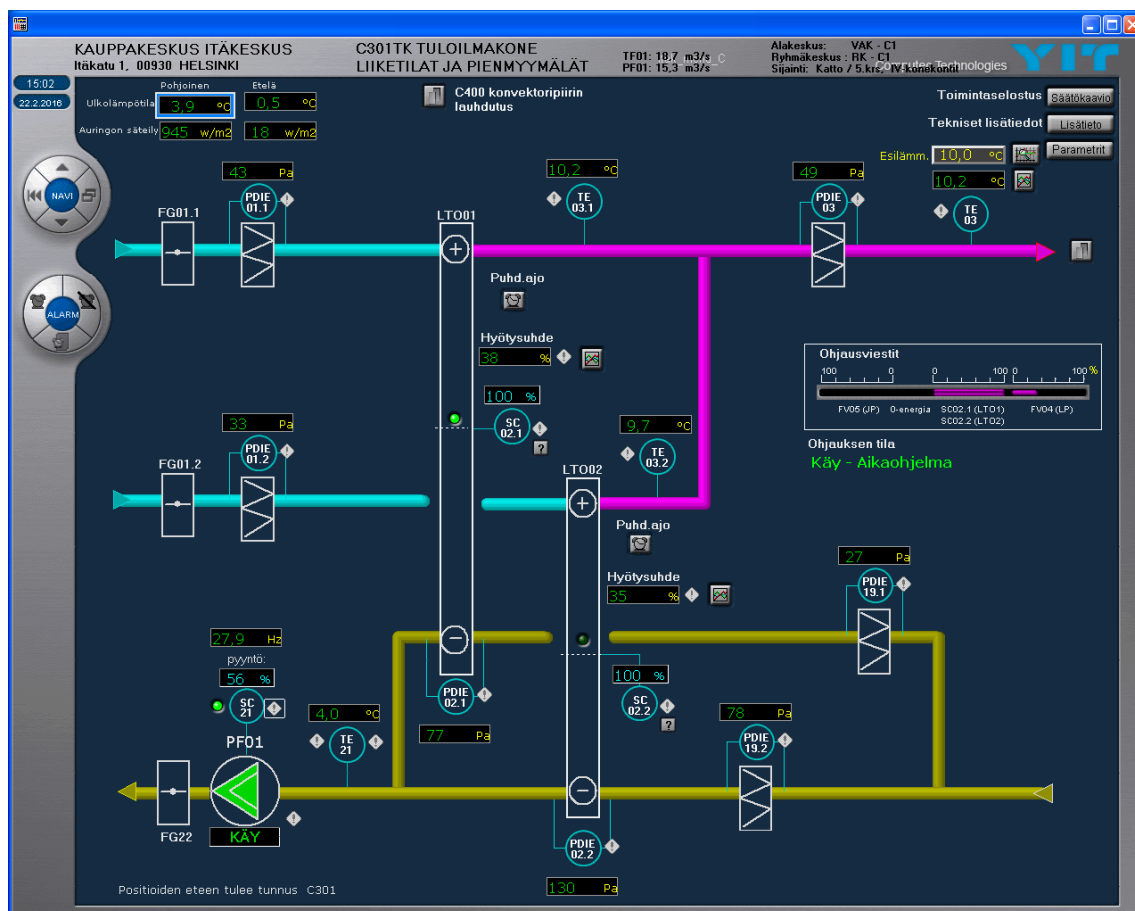
Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n_{50} -luvut, 1/h	Tyypilliset q_{50} -luvut, $m^3/(h \cdot m^2)$
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1,0 – 3,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5 – 1,5	Pientalot 1,0 – 3,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,0 – 4,0
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3,0 – 5,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5 – 3,0	Pientalot 3,0 – 5,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 4,0 – 8,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5,0 – 10,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3,0 – 7,0	Pientalot 5,0 – 10 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 8,0 – 20,0

Alttius tuulelle:

Maaston ja ympäristön kuvaus	Alttius tuulelle, kerroin	
	Useita julkisivuja	Yksi julkisivu
Suojaton: Avoimella maalla & korkeat rakennukset	0,1	0,03
Melko suojainen: ympärillä esteitä & esikaupunkialueet	0,07	0,02
Hyvin suojainen: sijainti metsässä tai keskustassa keskikorkeat rakennukset	0,04	0,01

Kuvankaappauksia C301:n grafiikalta

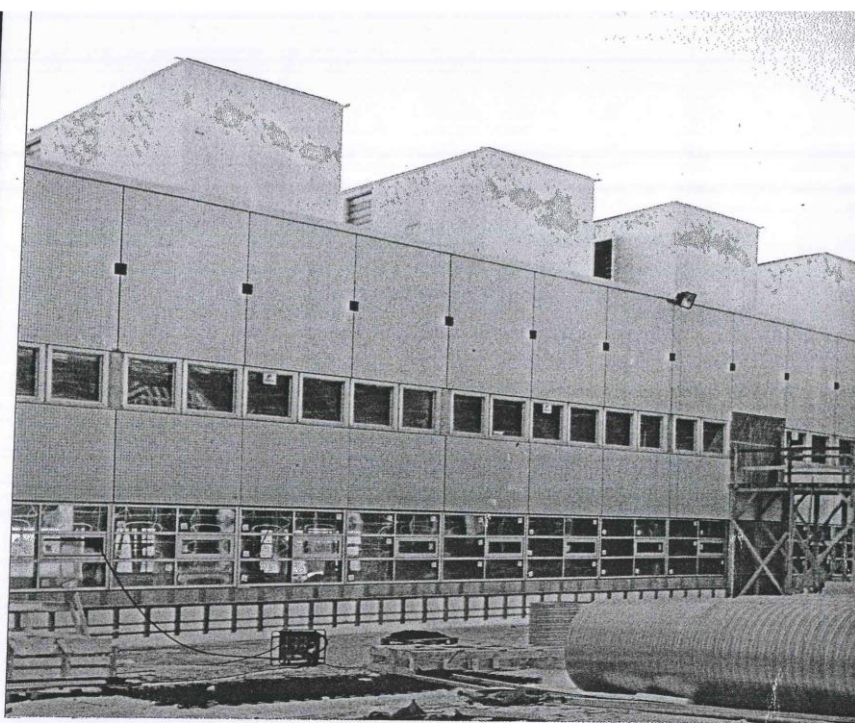




Ilmastointikoneen C301 konekortti

[illegible]

LÄMMÖSIIRTIN		KPL		LEVYLÄMMÖSIIRTIN		REGENERATIIVINEN LOHKOSULATUS		REGENERATIIV. LÄMMÖSIIR.		KOST. SIIRTO ON EI		MOOTTORI		Δ t		MITOITUSARVOT HYÖTY-PÄINEARVIT SUHDE % Δ p p _a	
						OHITUSKANAVA KIERTOILMA											
RRATE	2450	2	X					X		VVX	037			-25-+3	70	105	
SUODATTIMET KPL LUOKKA SUODATTINKERH																	
TULO	2	EU-3	500X500	HF	80/25							KPL 1/1	KPL 1/2				
TULO	1	EU-5	500X500	3 P	65								9		1:150		
POISTO	2	EU-3	500X500	HF	80/25								15	4	1:500		
POISTO	1	EU-5	500X500										9		1:150		
PUMPU																	
MALLI		TILAV. VIR		PÄINE KPa		KIER. LUKU		1/S JUOKSUP.		AKSELI		DESH TEHO kW		VALUT. / A			
50-115		3.47		1/5 25		1370		115		Hst		VALUT. 0.2		0.7		0.51	
				1/5													
				1/5													
LISÄTIEDOT																	



niVENT[®] 700

ULKOSOVITTEINEN
ILMANKÄSITTELYKESKUS

Lämmitys
Jäähdytys
Suodatus
Kostutus
Kuivaus
Lämmöntalteenotto

Suunniteltu sisäasiainministeriön antamien
tyyppihyväksyntäohjeiden mukaisesti.

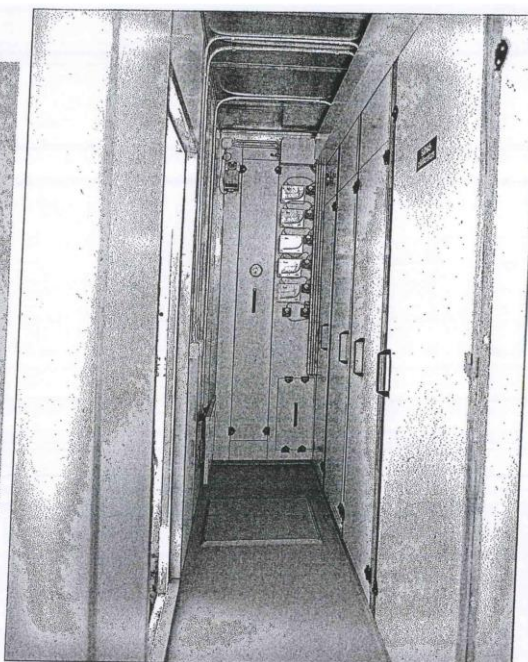
ILMAMÄÄRÄT 1,0-25,0 m³/s

Maximum capacity in minimum space
nilma

NiVENT 700**Toiminnalliset vaihtoehdot:**

- tuloilmakoneet vesipatterilla
- tuloilmakoneet sähköpatterilla
- LTO-koneet
- levylämmönvaihtimella
- pyörivällä lämmönvaihtimella
- lineaarisella sekoitusosalla
- glykolipatterilla
- neulaputkipatterilla
- jäähdytys/LTO-kone

Nivent 700 -kattokoneen
huoltokäytävä

**NiVENT® 700****Rakennetiedot**

- RHS 100 x 150 -asennusalusta

- erikolsjykytetty alumiinirunko

- vaipan rakenne:

- PVC-pinnoitettu teräslevy
- eriste 100 mm, k-arvo 0,35 W/m²/K
- sisäpuolella galvanoitu teräslevy

- huoltokäytävä

- seinät PVC-pinnoitettu teräslevy
- lattiapinnoitteena muovimatto hitsautuin saumoin
- huoltoluukut PVC-pinnoitettua teräslevyä eriste 50 mm, k-arvo 0,67 W/m²/K sisäpuolella galvanoitu teräslevy
- lattiakaivo
- huoltotilan sähkölämmitin
- valaistus
- pistorasia
- sähkö- ja säätölaittekeskus
- ulko-ovissa Abloy-lukot

- vesikatto

- katemateriaali: Derby-kumi
- kuumallimatut ja hitsatut saumat
- koneen ympäri kiertävät vesikourut

- ulkosäleiköt:

- tuloilma tarvittaessa labyrinthimallinen
- PVC-pinnoitettu teräslevy

Pidätämme oikeudet muutoksiin.

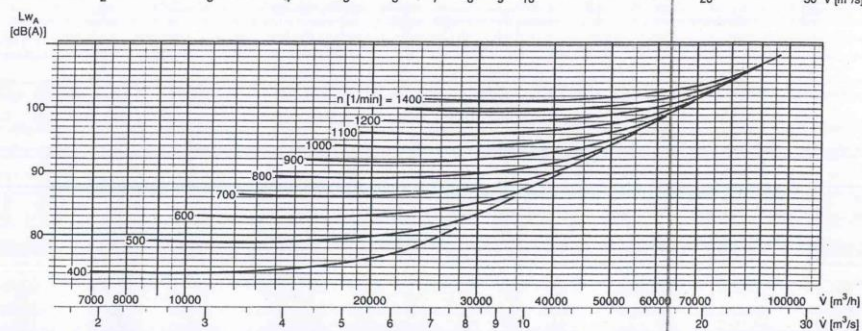
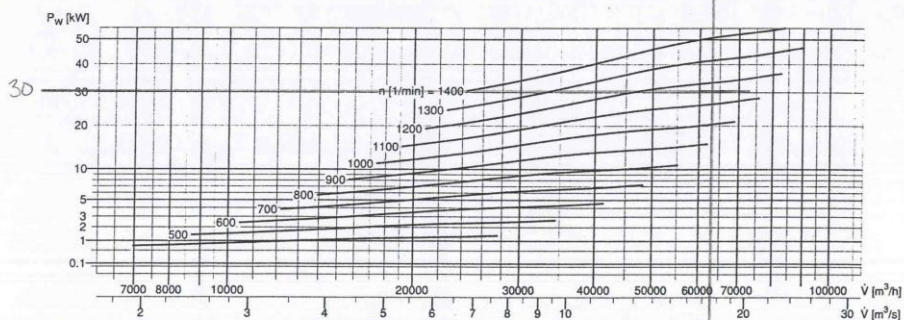
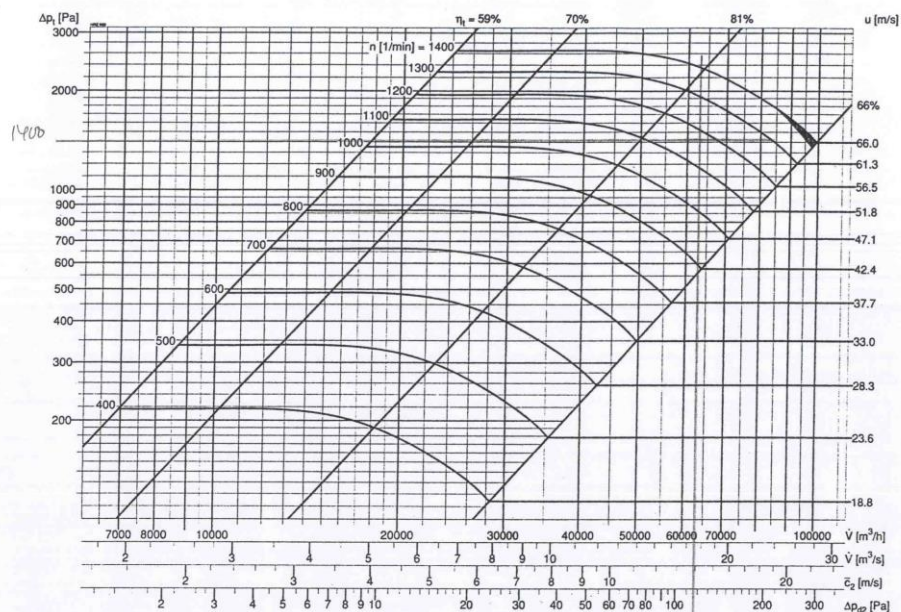
N-Ilma Ky
Taljakatu 1
15700 Lahti
Puh. (918) 875 111
Fax (918) 875 137



HRZ 900

$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$

in diesem Bereich nicht einsetzen



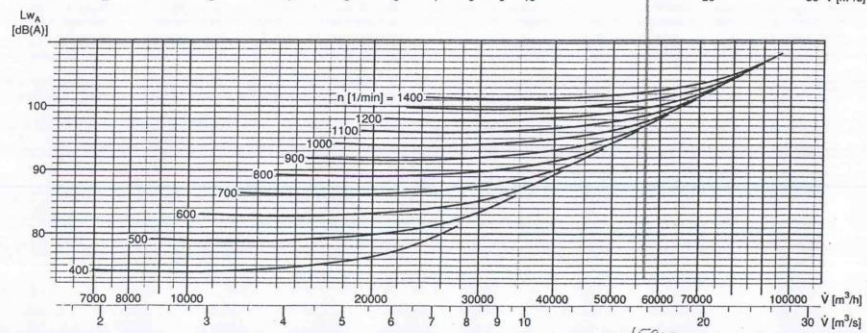
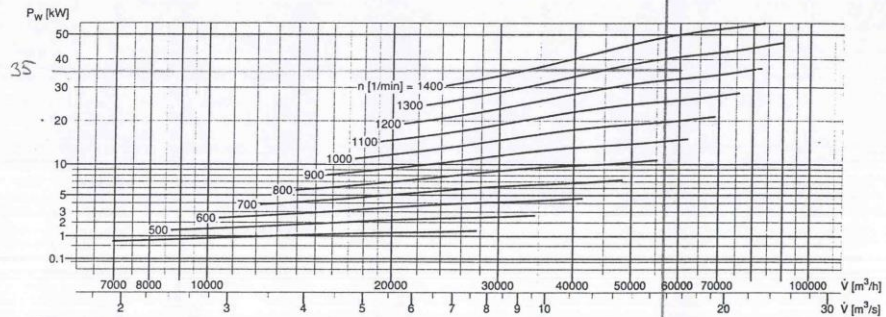
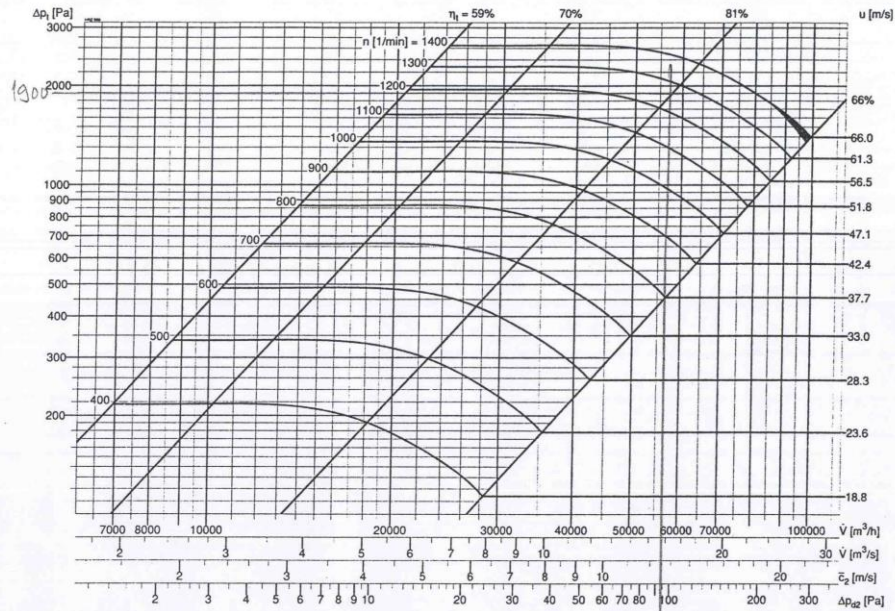
17500



HRZ 900

$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$

in diesem Bereich nicht einsetzen



CFPK

Ilmastointikoneen C301 säätökaavio

